DAS MIKROSKOP, THEORIE, GEBRAUCH, GESCHICHTE UND GEGENWÄRTIGER ZUSTAND...

Pieter HARTING, Friedrich Wilhelm THEILE

DAS

MIKROSKOP.

Theorie, Gebrauch,
Geschichte und gegenwärtiger Zustand desselben

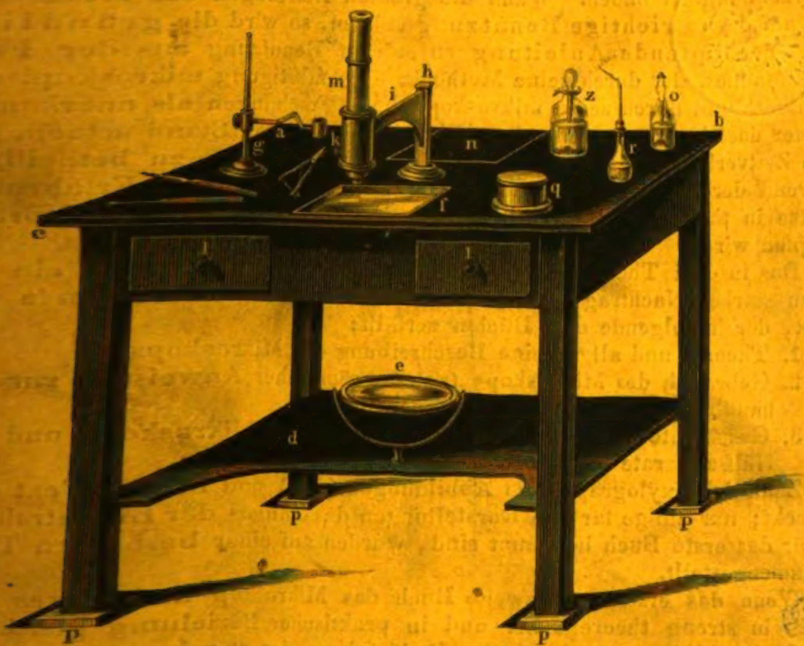
von

P. Harting,
Professor in Utrecht.

Deutsche Originalausgabe, vom Verfasser revidirt und vervollständigt.

Aus dem Holländischen übertragen von

Dr. Fr. Wilh. Theile,
Grossherzoglich Sächsischem Medicinalrathe.



Harting's Präparirtisch.

Mit 410 in den Text eingedruckten Holzschnitten und einer Tafel in Farbendruck.

BRAUNSCHWEIG,
DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.
1 8 5 9.

Ankündigung.

Harting's berühmtes Werk über das Mikroskop, von einem Sachkundigen wie Professor Theile übersetzt, und vom Verfasser selbst für die deutsche Bearbeitung wesentlich verbessert und vervollständigt, bedarf wohl keiner besondern Empfehlung. Bei der ausserordentlichen Bedeutung, welche das Mikroskop für wissenschaftliche Untersuchungen sowie für die Praxis gewonnen hat, und bei der weiten Verbreitung, welche das Instrument gegenwärtig nicht blos bei Anatomen und Physiologen, sondern auch bei praktischen Aerzten, Chemikern, Botanikern, Mineralogen, Technikern und Gewerbetreibenden erlangte, wird ein den Gegenstand so erschöpfendes Werk, wie das Harting'sche, nicht verfehlen können, nach den verschiedensten Seiten hin die verdiente Anerkennung zu finden. Wenn die grossen Leistungen des Mikroskops sich auf dessen richtige Benutzung stützen, so wird die gründliche und erschöpfende Anleitung zu solcher Benutzung aus der Feder eines Mannes, der durch seine Methodik der Anfertigung mikroskopischer Präparate und durch seine mikroskopischen Forschungen als anerkannter Meister dasteht, den angehenden Mikroskopiker in den Stand setzen, sich ohne Zeitverlust auf sichere Weise an jenen Leistungen zu betheiligen, während der bereits geübte Mikroskopiker aus Harting's Erfahrungsschatze in theoretischer und in praktischer Beziehung vielfach Vortheil schöpfen wird.

Das in drei Theilen erschienene holländische Original und ein eilf Bogen starker Nachtrag vom Jahre 1858 wurden zu Einem Bande vereinigt, der in folgende drei Bücher zerfällt:

1. Theorie und allgemeine Beschreibung des Mikroskops;
2. Gebrauch des Mikroskops (nebst gründlicher Anweisung zur Behandlung mikroskopischer Präparate);
3. Geschichte und gegenwärtiger Zustand des Mikroskops und der Hülfsapparate bei mikroskopischen Untersuchungen.

Zahlreiche xylographische Abbildungen (410) sind in den Text eingedruckt; nur einige farbige Darstellungen des Ganges der Lichtstrahlen, die für das erste Buch bestimmt sind, wurden auf einer besondern Tafel zusammengestellt.

Wenn das erste und zweite Buch das Mikroskop und dessen Gebrauch in streng theoretischer und in praktischer Beziehung gleich erschöpfend schildern, wodurch den Bedürfnissen des angehenden wie des bereits vorgeschrittenen Mikroskopikers in jeglicher Beziehung Genüge geleistet wird, so enthält das dritte Buch in der anziehenden und reichen Geschichte des Mikroskops auch für den thätigsten Mikroskopiker Neues und Anregendes in reichem Maasse.

Braunschweig, im October 1858.

Friedrich Vieweg und Sohn.

DAS

MIKROSKOP.

DAS

MIKROSKOP.

THEORIE, GEBRAUCH, GESCHICHTE

UND

GEGENWÄRTIGER ZUSTAND DESSELBEN

VON

P. HARTING,
Professor in Utrecht.

DEUTSCHE ORIGINALAUSGABE,

VOM VERFASSER

REVIDIRT UND VERVOLLSTÄNDIGT.

AUS

DEM HOLLÄNDISCHEN ÜBERTRAGEN

VON

Dr. FR. WILH. THEILE,
Grossherzoglich Sächsischem Medicinalrathe.

MIT 410 IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN HOLZSCHNITTEN
UND EINER TAFEL IN FARBENDRUCK.

BRAUNSCHWEIG,
DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.
1859.

Holzschnitte
aus dem xylographischen Atelier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig.

Papier
aus der mechanischen Papier-Fabrik
der Gebrüder Vieweg zu Wendhausen
bei Braunschweig.

Vorrede.

Ueber das Mikroskop sind bereits in verschiedenen Sprachen mehrfache Schriften erschienen. Wenn daher mein Buch, welches 1848 bis 1850 in drei Theilen in Holländischer Sprache erschienen ist, dem deutschen Publikum jetzt in einem neuen Gewande vorgelegt wird, so halte ich mich für verpflichtet, mit ein Paar Worten den Zweck anzugeben, der mir bei seiner Abfassung vorschwebte, und mich über den Plan auszusprechen, wie ich mein Ziel zu erreichen suchte.

Der Zweck, den ich verfolgte, ist allerdings auf dem Titel ziemlich vollständig ausgesprochen, und habe ich, des bessern Verständnisses halber, nur wenig beizufügen.

Manche Personen sind wohl der Ansicht, das mikroskopische Sehen sei so schwierig und so ganz verschieden von dem Sehen mit blossem Auge, dass nur eine recht anhaltende Uebung, verbunden mit viel Mühe und Anstrengung, vor den mancherlei Irrthümern bewahren könne, in die man sonst so leicht verfällt. Man entschuldigt wohl selbst damit den Nichtgebrauch des Mikroskops bei wissenschaftlichen Untersuchungen. Dagegen findet man auch wiederum solche, die da glauben, ein Mikroskop und ein paar gesunde Augen reichten schon aus zum mikroskopischen Beobachter.

Auf beiden Seiten befindet man sich im Irrthume. Wenn die ersteren sich die Sache zu schwierig denken, insofern das mikrosko-

pische Sehen und das Sehen mit blossem Auge im Wesentlichen das Nämliche sind, so nehmen sie die anderen offenbar zu leicht, insofern nämlich die Umstände, unter denen die Objecte beim mikroskopischen Beobachten vorkommen, in der Regel sich mehr oder weniger von jenen unterscheiden, woran wir beim Gebrauche des blossen Auges von Kindesbeinen her gewöhnt sind.

Um den Einfluss dieser Umstände zu beurtheilen und sich vor den daraus entspringenden Irrthümern zu schützen, oder mit anderen Worten, um das Wahrgenommene gehörig deuten zu können, bedarf es durchaus einer genauen Kenntniss des benutzten Instruments, namentlich seiner optischen Zusammensetzung. Man muss im Stande sein, den verschiedenen Gang der Lichtstrahlen durch die mancherlei brechenden Medien in dem Mikroskoprohre zu verfolgen, mögen nun diese Lichtstrahlen vom Objecte ausgehen, oder mögen sie durch den Beleuchtungsapparat in das Gesichtsfeld gebracht und durch die dort befindlichen Objecte theilweise zurückgehalten oder unregelmässig zerstreut werden. Diese Kenntniss würde aber ungenügend, die ganze Theorie des mikroskopischen Sehens würde sehr unvollständig sein, wenn der Bau und die Verrichtung des Auges als optisches Instrument nicht ebenfalls genau bekannt wären. Denn sobald das Auge über das Mikroskop kommt, machen beide zusammen Ein optisches Ganzes aus: alle Theile desselben tragen dazu bei, das Bildchen zu erzeugen, welches auf der Netzhaut einen Eindruck hervorruft, dessen fernere Deutung dann eine reine Verstandessache ist.

Damit ist der Inhalt des ersten Buchs (des ersten Theils der Holländischen Ausgabe) bezeichnet. Es enthält die allgemeine Beschreibung jener Instrumente, welche den Collectivnamen Mikroskop führen und die Angabe ihres Verhaltens zum Auge, wodurch sie erst ihre wahre Bedeutung erlangen.

Eine solche theoretische Betrachtung der Instrumente, die gegenwärtig zum mikroskopischen Sehen benutzt werden, verschafft an und für sich eine genügende Kenntniss derselben. Es giebt aber noch eine andere Quelle, woraus man mit Vortheil schöpfen kann, nämlich die Geschichte: diese lehrt uns, wie im Verlaufe

der Zeiten das eine Instrument allmälig aus dem andern entstanden ist; sie zeigt uns, wie durch die gemeinsamen Bestrebungen vieler das Mikroskop endlich jene Stufe der Vollkommenheit erlangt hat, die in den ersten Jahren dieses Jahrhunderts auch noch nicht entfernt zu erwarten stand. Trägt eine solche geschichtliche Uebersicht auch nicht wesentlich dazu bei, unsere Kenntniss des Mikroskops vollständiger und gründlicher zu machen, so ist sie doch ganz besonders dazu geeignet, die Vorstellungen und Ansichten über den Nutzen und die Bestimmung der verschiedenen Theile, woraus unsere jetzigen Mikroskope bestehen, zu läutern und aufzuhellen.

Diese Geschichte hat aber auch an und für sich ihre Bedeutung, und zu ihrer Bearbeitung fühlte ich mich um so mehr hingezogen, als frühere Autoren dieselbe ganz vernachlässigt oder doch nur ganz oberflächlich behandelt hatten, so dass man auf den wenigen dafür bestimmten Blattseiten einer Menge Irrthümer begegnete, die aus einer Schrift in die andere übergingen und zuletzt eine Art Bürgerrecht erlangten. Zudem ist dieses Instrument dem Holländischen Boden erwachsen, und dadurch durfte ich mich wohl um so mehr angespornt fühlen, seinen ferneren Entwickelungsgang in Holland und anderwärts bis zur gegenwärtigen Zeit zu verfolgen und in eine zusammenhängende Uebersicht zu bringen. Das dritte Buch (der dritte Theil der Holländischen Ausgabe) ist dieser Geschichte des Mikroskops gewidmet.

Zwischen das erste und dritte Buch ist das zweite (der zweite Theil der Holländischen Ausgabe) eingeschoben, worin von der mikroskopischen Untersuchung gehandelt wird. Ich wollte diesen Abschnitt erst ans Ende des ganzen Werks bringen, habe aber diese anscheinend mehr logische Ordnung deshalb aufgegeben, weil die Betrachtung der verschiedenen Hülfswerkzeuge zur mikroskopischen Untersuchung ein Vertrautsein mit den Fällen voraussetzt, in denen dieselben Anwendung finden können.

Mancher erwartet vielleicht in dem zweiten Buche noch viel mehr zu finden, etwa eine Histologie der Pflanzen und Thiere, eine Geschichte der Infusorien u. s. w. Frühere Autoren über das Mi-

kroskop und dessen Gebrauch haben dieses Beispiel gegeben und einen grossen oder selbst wohl den grössten Theil ihrer Werke mit einem bunten mikroskopischen Allerlei angefüllt, das offenbar mehr für sogenannte Liebhaber oder Dilettanten bestimmt war, als für jene, die sich mit Ernst der Wissenschaft und der mikroskopischen Untersuchung der Natur widmen. Dieses Zusammenhäufen ganz fremdartiger Elemente in einer und der nämlichen Schrift hat unter anderen auch den Nachtheil gehabt, dass man in den Irrthum verfallen ist, welcher noch gegenwärtig von vielen getheilt wird, als wäre die Mikroskopie oder die Mikrographie ein selbstständiger Wissenszweig, gleich der Chemie, der Botanik, der Zoologie u. s. w. Mit gleichem Rechte würde man jedoch alle Beobachtungen, zu denen nur das blosse Auge erfordert wird, als Ophthalmoskopie oder Makroskopie zusammenfassen können. Seitdem man allgemein erkannt hat, dass das Mikroskop in allen Zweigen der Naturwissenschaft mit Nutzen Anwendung findet, müssen die mit demselben erlangten Resultate dort eingereiht werden, wohin sie wirklich gehören, also in den Büchern, welche über den einen oder den andern besondern Zweig handeln. Anatomieen, in denen die Gewebe und der feinere Bau der thierischen Organe nicht dargestellt wären, Handbücher der Botanik, worin die Entwickelungsgeschichte der thierischen Zelle und der thierischen Organe fehlte, Handbücher über Zoologie, in denen die blos mikroskopischen Thierchen nicht mit abgehandelt wären, Darstellungen der Geologie, worin des Einflusses, welchen zahllose kleine Organismen auf die Bildung der Erdrinde ausgeübt haben, keine Erwähnung geschähe, würden jetzt eben so viele Anachronismen sein.

Das ist der Grund, weshalb ich eigentlich mikroskopische Beobachtungen gänzlich übergangen und nur hin und wieder zur Erläuterung passende Beispiele angeführt habe. Desto sorgsamer war ich bei der Aufzählung und Betrachtung der zur Untersuchung geeigneten Mittel, wobei ich mich auf eine fast dreissigjährige Erfahrung stützen kann. Sehr ausführlich bin ich auch bei den chemischen Eigenschaften der mikroskopischen Objecte gewesen. Das

Mikrochemische würde freilich eigentlich in die Chemie gehören. Doch sind die chemischen Handbücher in dieser Beziehung meistens noch zu arm, und die Aufnahme der Mikrochemie in die Lehre vom Mikroskope lässt sich auch wohl rechtfertigen: wie die mechanischen Hülfsmittel, Messer, Scheeren, Nadeln u. s. w. zur Erkennung der morphologischen Bestandtheile verhelfen, so lehren uns die chemischen Hülfsmittel die Substanzen kennen, aus denen die Körper zusammengesetzt sind.

Selbstverständlich habe ich diese deutsche Ausgabe meines Werks so vollständig als möglich zu machen gesucht, indem ich alle neuen Verbesserungen aufgenommen habe, mögen dieselben Instrumente oder Untersuchungsmethoden betreffen. Einen grossen Theil dieser Zusätze habe ich bereits in einer besondern Schrift veröffentlicht: *De nieuwste verbeteringen van het Mikroskoop en zyn gebruik sedert* 1850. *Tiel* 1858. Sie wurden der deutschen Ausgabe einverleibt, und ausserdem sind darin noch zahlreiche Veränderungen untergeordneter Art eingetreten, daher sie mit vollstem Rechte den Titel einer verbesserten und vervollständigten Originalausgabe führt.

Ich habe nur noch eine angenehme Pflicht zu erfüllen, indem ich Professor Theile, der seit einer Reihe von Jahren zur Verbreitung der Holländischen medicinischen Literatur in Deutschland fortwährend thätig gewesen ist, für die grosse Sorgfalt und Genauigkeit bei dieser Uebersetzung meinen vollen Dank ausspreche. Sollte seine Erwartung, dass durchs Verpflanzen meiner Schrift auf deutschen Boden seinen Landsleuten ein nützlicher Dienst erwiesen werde, sich erfüllen, und sollte dieselbe auch in Deutschland zur Förderung der Wissenschaft beitragen, so würde ich mich für die Zeit und Mühe, welche ich dieser deutschen Ausgabe gewidmet habe, reichlich belohnt erachten.

Utrecht, 26. August 1858.

P. Harting.

Inhaltsverzeichniss.

Erstes Buch.

Theorie und allgemeine Beschreibung des Mikroskops.

Zweites Buch.

Gebrauch des Mikroskops.

Erster Abschnitt.

Zweiter Abschnitt.

Dritter Abschnitt.

Vierter Abschnitt.

Fünfter Abschnitt.

Sechster Abschnitt.

Siebenter Abschnitt.

Drittes Buch.

Geschichte und gegenwärtiger Zustand des Mikroskops und der Hülfsapparate bei mikroskopischen Untersuchungen.

Erster Abschnitt.

Zweiter Abschnitt.

Dritter Abschnitt.

Seite

Vierter Abschnitt.

Fünfter Abschnitt.

Neunter Abschnitt.

Erstes Buch.

Theorie und allgemeine Beschreibung des Mikroskops.

Begriff und Eintheilung der Mikroskope.

1 Das Wort Mikroskop ist eine Collectivbezeichnung; man begreift darunter eine Anzahl optischer Instrumente, die, wie verschieden auch sonst ihre Einrichtung, ihre Wirkungsweise und ihr Gebrauch sein mag, doch darin übereinstimmen, dass sie kleine Gegenstände in einem vergrösserten Maassstabe zur Wahrnehmung bringen.

Man kann mehrere Arten von Mikroskopen unterscheiden. 2

A. Nimmt man Rücksicht darauf, wie die beabsichtigte Ablenkung der Lichtstrahlen in einem Mikroskope zu Stande kommt, so unterscheidet man:

a. dioptrische, in denen die Lichtstrahlen gebrochen werden;

b. katoptrische, in denen die Lichtstrahlen reflectirt werden;

c. katadioptrische, in denen Brechung und Reflexion der Lichtstrahlen stattfindet.

B. Nimmt man auf die Art und Weise Rücksicht, wie der betrachtete Gegenstand oder dessen Bild wahrgenommen wird, so unterscheidet man folgende Mikroskope:

a. Einfache, d. h. solche, mit denen der Gegenstand ohne vorgängige Umkehrung des Bildes in der ursprünglichen Richtung gesehen wird, mögen dioptrische oder katoptrische Hülfsmittel dabei benutzt werden. Es giebt daher dioptrische sowohl als katoptrische einfache Mikroskope.

b. Zusammengesetzte, mittelst deren das auf dioptrischem oder auf katoptrischem Wege erhaltene und bereits vergrösserte, aber verkehrte Bild eines Gegenstandes durch ein einfaches Mikroskop in noch stärkerer Vergrösserung wahrgenommen wird, wobei das Bild ein verkehrtes bleibt. Es giebt daher zusammengesetzte dioptrische Mikroskope, und die katadioptrischen Mikroskope gehören natürlich immer zu den zusammengesetzten. Zusammengesetzte katoptrische Mikroskope dagegen kennt man noch nicht.

c. Die Bildverkehrung aufhebende, mit denen das zuerst verkehrt sich darstellende Bild durch eine besondere Einrichtung wiederum in die gleiche Lage mit dem Objecte gebracht wird. Diese Einrichtung ist entweder dioptrischer Art, und man kann das Mikroskop dann als ein doppelt zusammengesetztes ansehen, oder sie ist katadiop-

trischer Art, wenn die Geradstellung des Bildes durch eine zweimalige vollständige Reflexion der Lichtstrahlen, bevor dieselben zum Auge gelangen, erreicht wird.

d. Bildmikroskope. Unter diesem allgemeinen Namen kann man die verschiedenen Arten von Mikroskopen zusammenfassen, deren Einrichtung darauf beruht, dass das vergrösserte Bild eines stark beleuchteten Objectes im dunklen Raume auf einem Schirme aufgefangen und hier beobachtet wird. Zur Beleuchtung kann jedes Licht dienen, sobald es die ausreichende Stärke zu dem beabsichtigten Zwecke besitzt. Hierher gehören die Sonnen-, Lampen-, Gas-, photoelektrischen Mikroskope. Zur Vergrösserung können katoptrische Hülfsmittel benutzt werden, in der Regel jedoch gehören diese Mikroskope zu den dioptrischen.

Bei älteren wie bei neueren Autoren kommen noch andere Benennungen vor. So hat man polydynamische Mikroskope, die als Mikroskop und zugleich auch als Teleskop dienen können, Universalmikroskope, welche diesen Namen davon führen, dass sie mehrere Zwecke erfüllen sollen, dass sie namentlich zugleich als einfaches und als zusammengesetztes Mikroskop dienen sollen, desgleichen pankratische Mikroskope oder solche, bei denen durch ungleiche Entfernung der Linsen die Vergrösserung willkürlich grösser oder kleiner genommen werden kann. Man hat ferner Taschenmikroskope, Wassermikroskope, botanische Mikroskope, polarisirende Mikroskope u. s. w. Alle diese Namen beruhen aber auf ganz untergeordneten Beziehungen und sie könnten ins Endlose vermehrt werden, wenn man für jede besondere mechanische Einrichtung oder für jeden bestimmteren Zweck eines Mikroskops auch eine besondere Benennung nöthig erachtete.

Die optische Zusammensetzung und die Wirkungsweise ist bei jedem Mikroskope die Hauptsache, und alle bisher bekannt gewordenen Mikroskope lassen sich unter einer der vier genannten Hauptarten unterbringen.

3 Manche Autoren, ältere wie neuere, haben das Wort Mikroskop durch Engyskop (ἐγγὺς, nahe, und σκοπέω, ich untersuche durchs Gesicht), ersetzen wollen, als Gegensatz von Teleskop. Diese Gegenüberstellung mag logisch richtiger sein, man wird aber deshalb den gebräuchlichen Namen, der überdies ganz verständlich ist und den Zweck des Instruments klar angiebt, noch nicht durch einen anderen ersetzen wollen. Man könnte gewiss mit gleichem Rechte von den Astronomen verlangen, dass sie ihr Teleskop Makroskop nennten.

Einer ausführlicheren Betrachtung der Mikroskope selbst wird
4 zum bessern Verständniss des Nachfolgenden zweckmässig eine Uebersicht der Gesetze vorausgehen, denen das Licht gehorcht, wenn seine Strahlen durch eine spiegelnde Oberfläche, oder aber durch den Uebertritt in ein anderes Medium von ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt werden.

Erster Abschnitt.

Allgemeine katoptrische und dioptrische Grundsätze.

Erstes Kapitel.

Richtung der Lichtstrahlen und deren Reflexion durch spiegelnde Oberflächen.

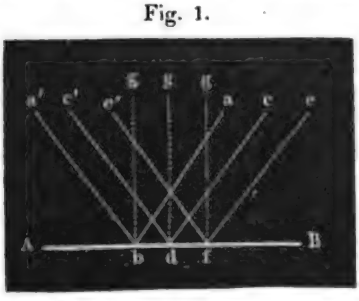
Von allen Punkten eines leuchtenden oder erleuchteten Körpers gehen Lichtkegel aus, deren Spitzen sich auf der leuchtenden Oberfläche befinden. Im ursprünglichen Zustande weichen demnach alle Strahlen eines solchen Kegels auseinander, derselbe besteht aus sogenannten *divergirenden* oder *auseinanderfahrenden* Strahlen. 5

In dem Maasse, als die Entfernung des leuchtenden Körpers zunimmt, wird die Spitze der Lichtkegel kleiner und kleiner, und ihre zusammensetzenden Strahlen nähern sich allmälig immer mehr dem Parallelismus. In diesem Falle befinden sich die Himmelskörper. Vollkommen *parallele* Strahlen kommen freilich nicht von denselben; bei dem grossen Abstande jedoch ist die Abweichung vom Parallelismus so ausnehmend gering, dass man unbedenklich davon absehen kann. Weiterhin wird der optischen Hülfsmittel Erwähnung geschehen, wodurch Lichtstrahlen, die eine andere Richtung haben, parallel gemacht werden können. 6

Ursprünglich divergirenden oder parallelen Lichtstrahlen kann wiederum eine solche Richtung veschafft werden, dass sie sich einander nähern. So gerichtete Strahlen heissen dann *convergirende*. 7

Betrachten wir jetzt, was geschieht, wenn Lichtbündel, deren Strahlen auf eine der drei genannten Arten gerichtet sind, auf eine spiegelnde Fläche treffen. 8

Fig. 1.



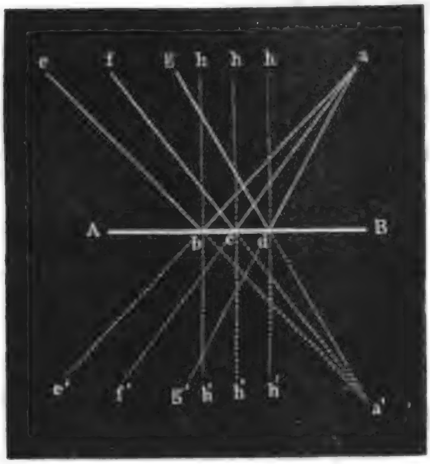
Ist es eine ebene Fläche, wie AB (Fig. 1), dann werden alle auffallenden Strahlen ab, cd, ef unter dem nämlichen Winkel reflectirt, unter welchem sie auf die Oberfläche AB auffallen. Die Winkel abg, cdg, efg, welche die auffallenden Strahlen mit den Einfallslothen bg, dg und fg bilden, sind gleich den Winkeln $a'bg$,

c'dg und *e'fg*, welche die reflectirten Strahlen *a'b*, *c'd* und *e'f* mit den nämlichen Einfallslothen bilden, oder allgemein ausgedrückt: der Reflexionswinkel ist gleich dem Einfallswinkel.

9 Sind die auffallenden Strahlen einander parallel, wie in Fig. 1, dann behaupten auch die reflectirten Strahlen den Parallelismus. Sie folgen aber jetzt in umgekehrter Richtung auf einander; denn der Strahl *ab*, ursprünglich an der oberen Seite des Lichtbündels befindlich, liegt nach stattgefundener Reflexion an dessen unterer Seite.

10 Denken wir uns die auffallenden Lichtstrahlen nicht parallel, sondern divergirend, dann müssen sie nach dem oben Mitgetheilten unter verschiedenen Winkeln reflectirt werden, da ein jeder die spiegelnde Oberfläche unter einem anderen Winkel trifft. Werden (Fig. 2) die vom Punkte *a* kommenden divergirenden Strahlen *ab*, *ac* und *ad* von der Oberfläche des Spiegels *AB* reflectirt, so bekommen sie die Richtungen *eb*, *fc* und *gd*, welche mit den Einfallslothen *hb*, *hc* und *hd* gleiche Winkel bilden wie die ursprünglichen Strahlen, und wie die Verlängerungen *e'b*, *f'c* und *g'd* dieser ursprünglichen Strahlen mit den verlängerten Einfallslothen *h'b*, *h'c* und *h'd*. Die Verlängerungen der reflectirten Strahlen würden einander hinter dem Spiegel in einem Punkte *a'* treffen, der eben so weit von der Hinterfläche von *AB* entfernt ist, als *a* von dessen Vorderfläche absteht.

Fig. 2.



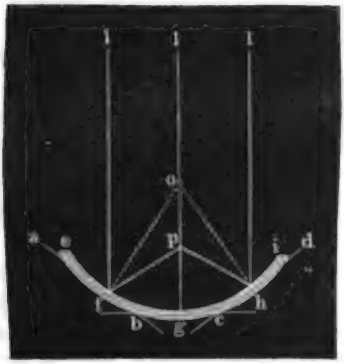
Divergirende Strahlen erfahren also durch die Reflexion keine Abänderung in dem Grade der Divergenz, nur allein ihre Richtung ändert sich.

11 Das Nämliche gilt, nur im umgekehrten Sinne, von convergirenden Strahlen. Denken wir uns einen Lichtkegel (Fig. 2) mit *eb*, *fc* und *gd* als zusammensetzenden Strahlen, so würden sich dieselben, wenn ihnen kein Körper im Wege stände, im Punkte *a'* vereinigen. Werden dieselben aber von der spiegelnden Fläche *AB* aufgefangen, so werden sie alle reflectirt und vereinigen sich im Punkte *a*, in gleichem Abstande von *AB* aber auf der entgegengesetzten Seite.

12 Es fällt nun nicht schwer, einzusehen, was geschehen muss, wenn die Lichtstrahlen nicht auf eine ebene, sondern auf eine concave Fläche auffallen, welche einen Abschnitt einer Kugeloberfläche darstellt.

Wenn *ab*, *bc* und *cd* (Fig. 3) Durchschnitte ebener Spiegel sind, welche die Oberfläche der Kugel, deren Mittelpunkt in *o* liegt, in je Einem Punkte berühren, dann sind die Radien *of*, *og* und *oh* Einfallslothe auf den genannten Flächen.

Fig. 3.



Denken wir uns nun auf die Berührungspunkte *f*, *g* und *h* die Strahlen *lf*, *lg* und *lh* auftreffend, so werden die Reflexionswinkel *ofp* und *ohp* den Einfallswinkeln *lfo* und *lho* gleich sein müssen, der Strahl *lg* aber, welcher mit dem Radius oder dem Einfallslothe *og* zusammenfällt, wird in der nämlichen Richtung reflectirt werden. Demnach vereinigen sich alle drei Strahlen im Punkte *p*, und aus einfachen geometrischen Principien folgt, dass dieser Punkt den Radius *og* halbiren muss.

Denken wir uns nun ferner einen concaven sphärischen Spiegel *egi* aus einer unendlichen Anzahl ebener spiegelnder Oberflächen zusammengesetzt, so ist klar, dass alle parallel auffallenden Strahlen sich beinahe in dem nämlichen Punkte vereinigen werden. Man bezeichnet denselben als den **Brennpunkt paralleler Strahlen** oder als den **Hauptbrennpunkt** des Spiegels, und die Entfernung zwischen *p* und *g* nennt man die **Brennweite**, die mithin immer dem halben Radius jener Kugel gleich ist, von deren Oberfläche ein Segment im Spiegel sich darstellt.

Treffen divergirende Strahlen auf einen concaven Spiegel, so sind 13
verschiedene Fälle möglich.

Fig. 4.



a. Der leuchtende Punkt liegt weiter von der Spiegelfläche entfernt, als der Mittelpunkt der Kugel, von deren Oberfläche ein Segment im Spiegel sich darstellt. In diesem Falle (Fig. 4) werden die Strahlen *lf*, *lg* und *lh* sich ebenfalls in einem Punkte vor dem Spiegel vereinigen; da aber jetzt die Winkel *lfo* und *lho*, welche die Strahlen *lf* und *lh* mit den Einfallslothen bilden, kleiner sind als bei parallelen Strahlen, so müssen die entsprechenden Reflexionswinkel *ofp'* und *ohp'* ebenfalls kleiner sein, und folglich werden die reflectirten Strahlen *fp'*, *gp'* und *hp'* einander in einem Punkte *p'* treffen, der sich dem Mittelpunkte *o*

näher befindet. Hieraus folgt, dass der Brenn- oder Vereinigungspunkt solcher divergirenden Strahlen stets zwischen dem Hauptbrennpunkte *p* und dem Mittelpunkte der Kugel gelegen ist. Auch ist es klar, dass die Entfernung zwischen *p'* und *o* um so geringer sein wird, je mehr sich der leuchtende Punkt dem Mittelpunkte *o* nähert.

b. Liegt der leuchtende Punkt im Mittelpunkte *o* selbst, dann fällt auch der Vereinigungspunkt der Strahlen in diesen Mittelpunkt.

c. Befindet sich der leuchtende Punkt innerhalb des Raumes zwischen dem Mittelpunkte *o* und dem Hauptbrennpunkte, z. B. in *p'* (Fig. 4), dann werden sich die reflectirten Strahlen jenseits des Mittelpunktes in *l* vereinigen, weil auch hier wieder die Reflexionswinkel *lfo* und *lho* und die Einfallswinkel *p'fo* und *p'ho* einander gleich sein müssen. Auch ist es klar, dass, je näher der leuchtende Punkt dem Hauptbrennpunkte des Spiegels kommt, der Vereinigungspunkt der Strahlen sich um so mehr davon entfernen wird, und liegt derselbe, wie *p* in Fig. 3, in diesem Hauptbrennpunkte selbst, dann werden die reflectirten Strahlen *lf*, *lg* und *lh* einander parallel gehen.

Fig. 5.



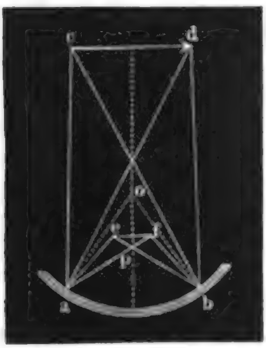
d. Befindet sich endlich der leuchtende Punkt *p'* (Fig. 5) zwischen dem Hauptbrennpunkte und dem Spiegel, dann gehen die reflectirten Strahlen *lf*, *lg* und *lh* divergirend auseinander, ohne sich zu vereinigen. Der Punkt aber, wo ihre Verlängerungen *fv*, *gv* und *hv* hinter dem Spiegel sich vereinigen würden, heisst der scheinbare Brennpunkt.

14 Convergirende Strahlen haben den Brennpunkt immer zwischen dem Hauptbrennpunkte und der spiegelnden Oberfläche. Denken wir uns nämlich (Fig. 5) einen aus convergirenden Strahlen bestehenden Lichtkegel, mit *lf* und *lh* als Grenzstrahlen, auf den Spiegel auffallend, so werden die Einfallswinkel *lfo* und *lho* mit den Reflexionswinkeln *ofp'* und *ohp'* gleiche Grösse haben müssen. Je stärker die Strahlen convergiren, um so mehr werden diese Winkel an Grösse zunehmen, und um so mehr wird sich *p'* als Vereinigungspunkt der reflectirten Strahlen der Spiegelfläche nähern. Hingegen wird dieser Vereinigungspunkt sich vom Spiegel um so mehr entfernen, je mehr die Convergenz der auffallenden Strahlen abnimmt. Niemals aber wird er die halbe Entfernung zwischen *o* und *g* überschreiten, es müssten denn die auffallenden Strahlen zu convergiren aufhören und parallel oder divergirend werden, wie in Fig. 3 und 4.

Es wurde bisher für divergirende Strahlen der einfachste Fall angenommen, dass sich nämlich der leuchtende Punkt innerhalb einer Linie befindet, welche mit der Axe der Kugel zusammenfällt und gerade durch die Mitte des Spiegels geht. Diese Linie heisst die **Axe des Hohlspiegels**. Werden nun aber Hohlspiegel in optischen Instrumenten, also auch in Mikroskopen benutzt, dann kommt es hauptsächlich darauf an, dass von irgend einem Objecte ein Bild entsteht, was nur durch Mitwirkung aller von dem Objecte kommenden Strahlen möglich ist: es müssen daher auch jene ausserhalb der Axe gelegenen Strahlen nicht minder berücksichtigt werden, als die Axenstrahlen. 15

Wenn von einem leuchtenden Punkte *c* (Fig. 6) Strahlen auf die Oberfläche des Spiegels *ab* fallen, der *o* zum Mittelpunkte hat, so wird der Strahl *ca* in der Richtung *af* reflectirt werden, denn dem Einfallswinkel *cao* muss der Reflexionswinkel *oaf* gleich sein. Aus dem nämlichen Grunde wird der Strahl *cb* in der Richtung *bf* reflectirt werden, und dem Einfallswinkel *cbo* ist der Reflexionswinkel *obf* gleich. Befindet sich dann in *d* ein anderer leuchtender Punkt, so müssen natürlich die Strahlen *da* und *db* in den Richtungen *ae* und *be* reflectirt werden. Die von *c* ausgehenden Strahlen treffen in *f*, die von *d* ausgehenden in *e* zusammen, und wenn von allen anderen Punkten eines zwischen *c* und *d* befindlichen Gegenstandes Strahlen kommen, die irgendwo in der Linie *ef* ihren Vereinigungspunkt haben, so wird hier ein verkehrtes Bild vom Gegenstande *cd* entstehen.

Fig. 6.



Liegt der Gegenstand in einer ebenen Fläche, dann wird das Bild desselben in einer nach einem Kegelschnitte gebogenen Fläche zu liegen kommen, aus Gründen, welche weiterhin ausführlicher angegeben werden sollen, wenn von Erzeugung des Bildes durch gewölbte Linsen die Rede sein wird.

Für die relative Lage des Bildes und des Objectes gelten die nämlichen Regeln, welche vorhin (§. 13) für die relative Lage des Strahlenvereinigungspunktes und des leuchtenden Punktes in der Axe, von wo aus sie divergiren, angegeben worden sind. Ausserdem ist auch die Grösse des Bildes im Verhältniss zu jener des Objectes von dieser relativen Lage abhängig. 16

Betrachten wir hier wiederum die verschiedenen möglichen Fälle, so kommen wir durch das früher Mitgetheilte auf folgende Sätze:

a. Liegt das Object *cd* (Fig. 6) ausserhalb des Mittelpunktes *o* und zwar so, dass die Axe des Spiegels durch seine Mitte geht, dann wird das Bild davon zwischen dem Mittelpunkte *o* und dem Hauptbrennpunkte *p* liegen. Das Bild ist in diesem Falle stets kleiner als das Ob-

ject, und zwar um so kleiner, je weiter das Object vom Spiegel entfernt ist; dabei nähert es sich immer mehr dem Hauptbrennpunkte, ohne je damit zusammen zu fallen *).

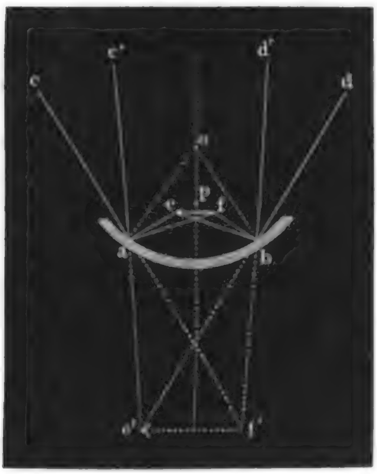
b. Liegt die Mitte des Objectes in *o* und seine beiden Enden befinden sich in gleichem Abstande vom Spiegel, dann treffen Bild und Object zusammen.

c. Befindet sich das Object in der Axe zwischen *o* und *p*, etwa in *ef* (Fig. 6), dann wird ein verkehrtes Bild jenseits des Mittelpunktes *o* entstehen, und die Entfernung dieses Bildes wird um so grösser sein und es wird das Object um so mehr an Grösse übertreffen, je näher dem Hauptbrennpunkte das Object sich befindet.

d. Liegt die Mitte des Objectes im Hauptbrennpunkte *p*, dann kann gar kein Bild entstehen, weil die reflectirten Strahlen parallel werden.

e. Nähert sich das Object *ef* (Fig. 7) dem Spiegel noch weiter, so, dass es sich zwischen dem Hauptbrennpunkte *p* und der spiegelnden Oberfläche befindet, dann wird kein wahres Bild vorderhalb des Spiegels entstehen können. Die von *e* kommenden Strahlen *ea* und *eb* werden in den Richtungen *ac'* und *bd* reflectirt werden, da die Winkel *c'ao* und *obd* den Winkeln *oae* und *obe* gleich sein müssen. Aus den nämlichen Gründen aber werden die vom anderen Ende *f* ausgehenden Strahlen *fa* und *fb* in den Richtungen *ac* und *bd'* reflectirt werden. Mithin divergiren alle Strahlen, welche reflectirt worden sind. Denken wir uns aber ein Auge in der Richtung der reflectirten Strahlen befindlich, so wird dieses ein vergrössertes Bild des Objectes hinter dem Spiegel sehen. Denn verlängern wir die Linien *ac'* und *bd*, nämlich die reflectirten Strahlen *ea* und *eb*, welche vom Punkte *e* ausgingen, so treffen sich dieselben in *e'* hinter dem Spiegel, und eben so vereinigen sich die von *f* ausgegangenen und als *ac* und *bd'* reflectirten Strahlen in der Verlängerung hinter dem Spie-

Fig. 7.

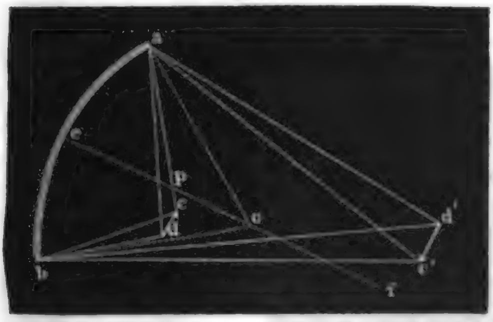


*) Für diesen Fall wie für die übrigen lässt sich die Entfernung sowohl als die Grösse des Bildes auf eine einfache Weise berechnen. Ist die Entfernung des Hauptbrennpunktes oder der halbe Radius $= p$, die Entfernung des Objectes vom Spiegel $= a$, der Durchmesser des Objectes $= v$, so ist der Abstand des Bildes vom Spiegel $= \frac{ap}{a-p}$, die Grösse des Bildes aber ist $= \frac{pv}{a-p}$.

gel in f'. In $e'f'$ befindet sich demnach scheinbar das vergrösserte Bild von ef, und aus der gegebenen Construction folgt zugleich, dass es nicht verkehrt ist, sondern gleiche Lage mit dem Objecte haben muss.

Es fällt nun nicht schwer, für jede andere Stellung des Ob- 17
jectes, auch ausser der Axe des Spiegels, den Ort zu finden, wo sich das Bild darstellen muss.

Fig. 8.



Ist z. B. cd (Fig. 8) ein kleiner Gegenstand, der sich auf der einen Seite der Spiegelaxe eof befindet, so werden die Vereinigungspunkte der reflectirten Strahlen in c' und d' zu liegen kommen, und es wird also auf der andern Seite der Spiegelaxe ein verkehrtes Bild entstehen.

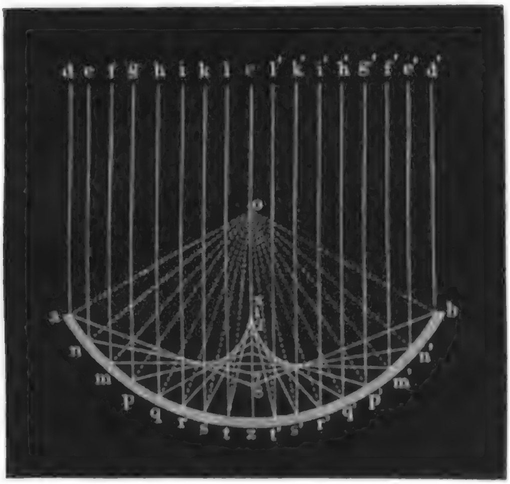
Da von allen Punkten eines Gegenstandes Strahlen auf die 18
Oberfläche eines Spiegels fallen, so muss, wenn auch die Grösse des Bildes nicht von der Grösse des Spiegels abhängig ist, sondern nur von dessen Krümmung und von der Lage des Objectes, die Helligkeit oder die Lichtstärke des Bildes gar sehr von der Grösse der spiegelnden Fläche bedingt sein oder von der Oeffnung des Hohlspiegels, wie man sich auszudrücken pflegt. Die Grösse dieser Oeffnung wird durch den Winkel ausgedrückt, welchen die aus dem Hauptbrennpunkte nach den Rändern des Spiegels gezogenen Linien beschreiben. So würde z. B. in Fig. 3 der Winkel fph der Oeffnungswinkel für den Spiegelabschnitt $fbgch$ sein. Da nun die reflectirende Oberfläche und folglich auch die Menge des reflectirten Lichtes im quadratischen Verhältnisse der Durchmesser der Spiegel zunimmt, so muss auch die Helligkeit des Bildes durch deren Vergrösserung zunehmen. So ist es auch. Indessen lehren Erfahrung sowohl als Theorie, dass beim Verfertigen optischer Instrumente, wenn es nicht bloss auf Helligkeit oder Lichtstärke, sondern ausserdem und vorzüglich auf Schärfe des Bildes ankommt, die Vergrösserung der Spiegelöffnung nicht über bestimmte Grenzen hinaus gehen darf.

Es wurde bisher der Einfachheit halber angenommen, alle Strah- 19
len, welche von einem leuchtenden Punkte ausgehen, vereinigten sich nach der Reflexion auch wieder in einem einzigen Punkte. Dies geschieht aber in der Wirklichkeit nicht bei solchen Spiegeln, deren Krümmung der Abschnitt einer Kugelfläche ist. Die Strahlen vereinigen sich dann eigentlich in einer unendlich grossen Anzahl von Punkten, die insgesammt hinter dem wahren Brennpunkte liegen, und je grösser die Spiegelöffnung ist, um so entfernter liegt der Vereinigungspunkt der am Rande auffallenden Strahlen von dem Vereinigungspunkte jener Strahlen,

welche nahe der Axe reflectirt werden. Man bezeichnet dies als Abweichung wegen der Kugelgestalt oder kurzweg als **sphärische Aberration.**

Ihre Wichtigkeit bei allen katoptrischen und katadioptrischen Instrumenten verlangt eine nähere Betrachtung der sphärischen Aberration, die man sich durch eine einfache Construction versinnlichen kann. Es sei *ab* (Fig. 9) der Durchschnitt eines sphärischen Hohlspiegels, *o* dessen Mittelpunkt, *coz* die Axe und *x* der Hauptbrennpunkt, welcher den Radius *oz* halbirt. Lassen wir auf die Oberfläche des Spiegels ein Bündel paralleler Strahlen von *da* bis *d'b* fallen und machen die Reflexionswinkel den Einfallswinkeln gleich, dann werden sich die äussersten Randstrahlen *da* und *d'b* in 8 vereinigen, die Strahlen *en* und *e'n'* in 7 und so fort, und die zunächst der Axe verlaufenden Strahlen *lt* und *l't'* werden in 1 zusammentreffen, welches sich ganz nahe dem Hauptbrennpunkte *x* befindet. Aus der Figur ist nun zu entnehmen, dass der Abstand der Vereinigungsweiten vom Hauptbrennpunkte um so grösser wird, je näher dem Rande des Spiegels die Strahlen aufgefallen sind Die Berechnung lehrt auch, dass die Grösse der Abweichung im quadratischen Verhältniss der halben Durchmesser der Spiegel zunimmt *).

Fig. 9.

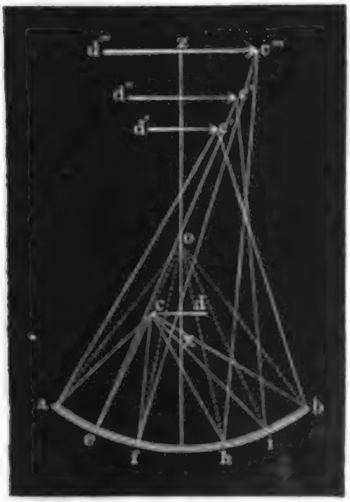


20 Natürlicherweise macht sich der nämliche Einfluss auch beim Entstehen der Bilder geltend. Fig. 10 dient zur Erläuterung des Falles, wo ein Object *cd* zwischen dem Mittelpunkte *o* und dem Hauptbrennpunkte *x* befindlich ist. Um Verwirrung zu vermeiden, ist der Strahlenverlauf nur

*) Ist der halbe Durchmesser $= x$, der Abstand des Hauptbrennpunktes $= p$, dann ist die Länge der Abweichung (bei einem mässigen Oeffnungswinkel) $= \frac{x^2}{8p}$. — Die alsbald folgende kleine Tafel ist nach der genaueren, auch für grössere Oeffnungswinkel brauchbaren Formel $l = \frac{p}{\cos\varphi} - p = \frac{2p\sin^2\frac{1}{2}\varphi}{\cos\varphi}$ berechnet, worin l die Länge der Abweichung, p den Brennpunktsabstand, φ den halben Oeffnungswinkel bezeichnet und $\sin\varphi = \frac{x}{2p}$ ist.

auf einer Seite für die von c kommenden Strahlen abgebildet. Man bemerkt aber sogleich, dass statt des Einen Bildes mehrere hintereinander liegende Bilder, $c'd'$, $c''d''$ und $c'''d'''$ entstehen müssen, deren Entfernung in umgekehrtem Sinne zunimmt, wie bei den Vereinigungspunkten in Fig. 9, während sie zugleich grösser und grösser werden. Da diese Bilder einander theilweise decken und die Strahlen nach ihrer Vereinigung wieder divergiren, so muss auf einem in z befindlichen Schirme ein Bild ohne scharfe Umrisse entstehen, dass verwirrt und undeutlich ist.

Fig. 10.



Ein Beispiel mag darthun, wie 21
sehr diese Undeutlichkeit mit der grösseren Oeffnung des Spiegels zunimmt. Bei einem Spiegel, dessen Flächenkrümmung einen Radius von 40^{mm} hat, wo also der Hauptbrennpunkt 20^{mm} absteht, treffen folgende Werthe auf die Länge der Abweichung:

Spiegel	von	60	Millimeter	Durchmesser	10,2368	Millimeter
»	»	40	»	»	3,0940	»
»	»	30	»	»	1,5742	»
»	»	20	»	»	0,6560	»
»	»	10	»	»	0,1581	»
»	»	5	»	»	0,0392	»
»	»	4	»	»	0,0251	»
»	»	3	»	»	0,0141	»
»	»	2	»	»	0,0063	»
»	»	1	»	»	0,0016	»

Man ersieht hieraus, dass, wenn hier der Durchmesser des Spiegels von 60^{mm} auf 30^{mm}, also auf die Hälfte sinkt, die Aberrationsgrösse nur noch etwa $^1/_6$ der früheren ist. Fällt der Durchmesser bis auf $^1/_{12}$, dann hat sich die Aberrationsgrösse schon auf $^1/_{261}$ gemindert, und ist der ursprüngliche Durchmesser nur noch $^1/_{60}$, dann beträgt die Aberrationsgrösse nur noch $^1/_{6398}$ der früheren Aberration. Für solche Strahlen also, welche $^1/_2$ bis 1^{mm} von der Axe auf den Spiegel treffen, ist die Aberration so gering, dass sie ganz übersehen werden darf. In dem angenommenen Falle entspricht ein Spiegelabschnitt von 1^{mm} Durchmesser einer Oeffnung von etwa $1{,}5^0$. Auch noch bei einem Durchmesser von 3^{mm}, der einer Oeffnung von fast $5{,}5^0$ entspricht, hat die Aberration keine solche Grösse, dass sie sehr bemerkbar werden könnte. Wird in-

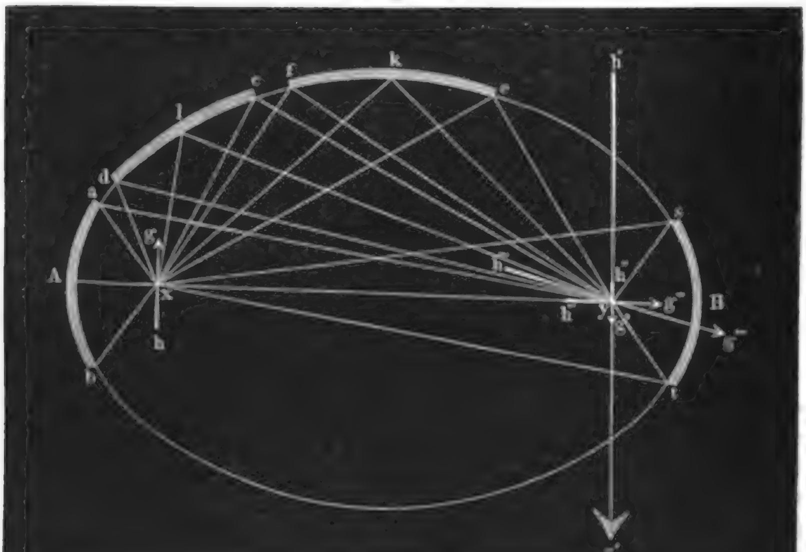
dessen diese Grenze überschritten, dann nimmt die sphärische Aberration rasch dergestalt zu, dass ein mittelst eines solchen weiteren Spiegels gewonnenes Bild sogleich ganz verwirrt und unklar werden würde.

Die concaven sphärischen Spiegel katoptrischer und katadioptrischer Instrumente dürfen deshalb nur eine kleine Oeffnung besitzen, was der Lichtstärke des Bildes Eintrag thut. Dies ist besonders deutlich bei jenen Spiegelchen, welche zur Verfertigung von Mikroskopen benutzt werden; bei einer kurzen Brennweite und einem kleinen Oeffnungswinkel erlauben dieselben auch nur einen so kleinen Durchmesser, dass sie nur für niedrige Vergrösserungen benutzbar sind, weil den Bildern die Lichtstärke fehlt.

22 Betrachtet man Fig. 9, so findet man bald, dass, wenn der Spiegel *ab* anders gekrümmt wäre, als nach der Oberfläche einer Kugel, es möglich sein müsste, dass alle parallele Strahlen nach stattgefundener Reflexion sich im Punkte *x* vereinigten. Wirklich lehrt auch die Berechnung, dass eine parabolische Krümmung diese Eigenschaften besitzt. Für Spiegel in Mikroskopen verdient jedoch eine andere Krümmung noch den Vorzug, nämlich das Ellipsoid.

23 Die katoptrischen Eigenschaften einer ellipsoidischen Oberfläche werden durch Fig. 11 erläutert. *AB* ist die grosse Axe einer

Fig. 11.



Ellipse, durch deren Umdrehung ein Ellipsoid entsteht, und *ab*, *cd*, *fe* und *st* sind Durchschnitte von Spiegeln, deren Krümmungen verschiedenen

Abschnitten des Ellipsoids entsprechen. Wenn nun in einem der beiden Brennpunkte x oder y ein leuchtender Punkt sich befindet, dann werden alle von diesem ausgehenden Strahlen sich vollständig im anderen Brennpunkte vereinigen.

Der Brennpunkt eines elliptischen Spiegels ist folglich der Punkt, wohin man ein Object, von dem ein vergrössertes Bild verlangt wird, am passendsten bringt. Die Strahlen, welche von einem anderen Punkte als vom Brennpunkte kommen, vereinigen sich nicht mehr in einem bestimmten Punkte, vielmehr giebt es so viele Vereinigungspunkte, als der Spiegel Reflexionspunkte hat, wie aus der folgenden Betrachtung hervorgeht.

Befindet sich für den Spiegelabschnitt ab ein Gegenstand gh im nächstgelegenen Brennpunkte x, dann werden, nach dem Vorstehenden, die von seiner Mitte x kommenden Strahlen in y sich sammeln. Zieht man nun (was, um Verwirrung zu vermeiden, in der Figur weggelassen ist) bei a und b Berührungslinien, errichtet auf diesen Perpendikel, und macht die Reflexionswinkel den Einfallswinkeln gleich, so ergiebt sich, dass die von a und b reflectirten Randstrahlen in g' und h' sich vereinigen. Dort wird man also ein vergrössertes und verkehrtes Bild des Gegenstandes erhalten, dessen Ebene mit jener des Objectes parallel liegt.

Befindet sich für den nämlichen Spiegelabschnitt ab ein Gegenstand gh in dem entfernteren Brennpunkte y, oder befindet sich, was ja das Nämliche ist, für den Spiegelabschnitt st ein Gegenstand gh in x, dann wird im letzteren Falle in y ein verkleinertes und verkehrtes Bild $g''h''$ entstehen, oder: das Object $g'h'$ wird für den Spiegelabschnitt ab das Bildchen gh geben. Auch hier liegt die Ebene des Bildes parallel mit der Ebene des Objectes. Anders verhält es sich mit jenen Bildern, welche von den übrigen Abschnitten der spiegelnden Oberfläche reflectirt werden. So werden die Randstrahlen für den Spiegelabschnitt fe in g''' und h''' sich vereinigen, so dass das Bild in der Axe des Ellipsoids liegt oder senkrecht auf dem Objecte gh steht. Bild und Object haben in diesem Falle durchaus die nämliche Grösse.

Für den Spiegelabschnitt cd wird das vergrösserte Bild $g''''h''''$ in schiefer Richtung liegen, und ebenso ergiebt sich, dass für jeden anderen Spiegelabschnitt das Bild eine ganz besondere Richtung annehmen und zugleich grösser oder kleiner sein muss, je nach der Proportion, welche zwischen der Entfernung von der Mitte des Objectes bis zur Mitte des Spiegelabschnittes und von hier bis zum anderen Brennpunkte besteht. Mit anderen Worten: das Bild $g'h'$ wird eben soviel mal grösser als gh sein, als Ax in Ay enthalten ist; $g''''h''''$ wird um soviel grösser als gh sein, als ly grösser ist als lx; $g'''h'''$ und gh werden aber gleiche Grösse haben, weil ky und kx einander gleich sind. Die entfernteren, nach B zu befindlichen Spiegelabschnitte müssen offenbar Bilder liefern, die immer kleiner und kleiner werden, bis sie bei B das Minimum errei-

chen und auf der anderen Seite der spiegelnden Fläche von *B* nach *A* zu wieder an Grösse zunehmen.

Wir betrachteten bisher nur die Randstrahlen, welche durch die Spiegelabschnitte *ab*, *cd*, *cf*, u. s. w. reflectirt werden. Da aber jeder solcher Spiegel einen Abschnitt der ganzen ellipsoidischen Oberfläche darstellt und da, ausser vom Rande, auch von allen anderen Punkten des Spiegels Strahlen reflectirt werden, welche sich zu Bildern vereinigen, so ergiebt sich aus dem Vorstehenden, dass die Bilder nicht vollkommen auf einander treffen, sondern sich alle in der Richtung und Grösse von einander unterscheiden, und dass sie eigentlich nichts als den Mittelpunkt gemeinschaftlich haben.

Bei den elliptischen Spiegeln kommt also noch eine Abweichung vor, die zwar der Art nach von der sphärischen Aberration verschieden ist, in der Wirkung aber insofern damit übereinstimmt, dass die Ränder des Bildes sich niemals ganz scharf formen können. Diese elliptische Aberration, wie wir sie nennen können, hat aber weit weniger zu bedeuten als die sphärische, namentlich für Mikroskope, da hier die Objecte immer sehr klein sind, ihre Grenzen also dem Brennpunkte immer sehr nahe fallen, wo die Aberration = Null ist. Auch kann man dadurch, dass man einen passenden Abschnitt der ellipsoidischen Oberfläche zum Spiegel nimmt, diese elliptische Aberration noch beschränken, also eine grössere Spiegelöffnung nehmen. Hierauf und auf andere dazu gehörige Punkte werde ich weiterhin, bei den katadioptrischen Mikroskopen, näher zurückkommen.

Die vorstehende Erklärung der Wirkungsweise elliptischer Spiegel ist mit einigen Modificationen der Schrift von Doppler (Ueber eine wesentliche Verbesserung der katoptrischen Mikroskope. Prag 1845) entnommen.

Zweites Kapitel.

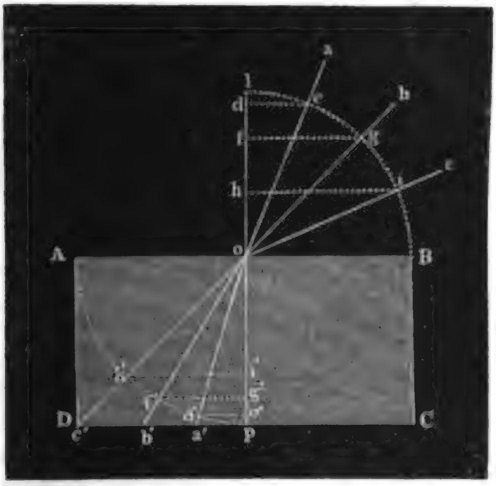
Brechung der Lichtstrahlen und Wirkung der Linsen.

24 Nachdem die Gesetze der Lichtreflexion, soweit es der Zweck dieser Schrift verlangt, besprochen worden sind, ist jetzt zu untersuchen, was vorgeht, wenn das Licht aus einem durchsichtigen Medium in ein anderes übergeht, und welchen Einfluss die Form dieser Medien auf die Richtung der Lichtstrahlen ausübt.

25 Bekanntlich ändert sich die Richtung eines Lichtstrahles, wenn er in ein Medium tritt, dessen Dichtigkeit von jener des Mediums, worin er sich bisher bewegte, verschieden ist. Die Gesetze dieser veränderten

Richtung oder Brechung der Lichtstrahlen sind sehr einfach und werden durch Fig. 12 erläutert. *ABCD* sei der Durchschnitt einer dicken Platte von Glas oder einer anderen Substanz, welche dichter als die Luft ist. Jeder Strahl, der gleich *lo* senkrecht auf die Oberfläche fällt, wird ungebrochen hindurchgehen und auf der gegenüberbefindlichen Fläche bei *p* wieder herauskommen; alle anderen Strahlen dagegen, welche in schiefer Richtung auf jene Oberfläche treffen, werden beim Uebergange aus der Luft ins Glas von ihrer Richtung abweichen und nach dem Einfallslothe *op* hingelenkt werden, wobei sie übrigens in der nämlichen Ebene verharren.

Fig. 12.



Der Strahl *ao* wird in der Richtung *oa'* seinen Weg fortsetzen, *bo* in der Richtung *ob'*, *co* in der Richtung *oc'*. Man sieht, dass die Ablenkung der Strahlen von der ursprünglichen Richtung um so stärker ist, je schiefer sie auftreffen, denn der Winkel *coc'* ist merklich kleiner als *bob'* und dieser wiederum kleiner als *aoa'*. Wenngleich nun aber der Grad der Brechung nach der mehr oder minder schiefen Richtung der einfallenden Strahlen ein verschiedener ist, so haben doch die Linien *de* und *d'e'*, *fg* und *f'g'*, *hi* und *h'i'* gleiche Länge, nämlich jene Linien, welche von Punkten aus, wo die Strahlen den um den Mittelpunkt *o* gezogenen Umfang eines Kreises schneiden, senkrecht auf den Perpendikel gezogen werden. Mit anderen Worten, die Sinus der einzelnen Einfallswinkel *aol*, *bol*, *col*, welche die Strahlen *ao*, *bo* und *co* mit dem Einfallslothe *lo* bilden, stehen in einem bestimmten Verhältniss zu den einzelnen Brechungswinkeln *a'op*, *b'op* und *c'op*, welche die gebrochenen Strahlen *a'o*, *b'o* und *c'o* mit dem Einfallslothe *op* bilden.

Für den angenommenen Fall, dass nämlich die Strahlen aus 26
der Luft in gewöhnliches Glas übergehen, ist dieses Verhältniss ungefähr wie 2 : 3 oder wie 1 : 1,5, d. h. die Linien *de*, *fg* und *hi* sind anderthalbmal länger als *d'e'*, *f'g'* und *h'i'*. Dieses Verhältniss zwischen dem Sinus des Einfallswinkels und dem Sinus des Brechungswinkels, welches für eine und dieselbe Substanz unter gleichen Umständen stets das nämliche bleibt, kann als gleichbleibendes Maass für das Brechungsvermögen dieser Substanz benutzt werden. Man bezeichnet dies Verhältniss

deshalb als Brechungsexponent, der für das als Beispiel benutzte Glas 1,5 ist, für Wasser 1,336, für atmosphärische Luft 1,000294. Folgendes sind die Brechungsindices für einige Substanzen, welche bei der Verfertigung von Mikroskopen in Betracht kommen:

Kronglas von verschiedener Zusammensetzung	1,500 bis 1,534
Flintglas » » »	1,664 bis 2,028 *)
Boraxglas oder borsaures Blei	2,065
Bergkrystall	1,563
Beryll	1,598
Topas	1,610 bis 1,652
Saphir	1,794
Granat	1,815
Diamant	2,439
Canadabalsam	1,532 bis 1,549.

27 Tritt ein Lichtstrahl aus einem dichteren Medium in ein dünneres, dann ist der Brechungswinkel grösser als der Einfallswinkel, der Strahl wird mithin vom Einfallslothe abgelenkt. So werden in Fig. 12 die Strahlen *c' o*, *b' o* und *a' o* beim Uebergange aus Glas in Luft in den Richtungen *o c*, *o b* und *o a* fortgehen, und in Fig. 13 wird der Strahl *a o*, nachdem er in der Richtung *o b* durch eine Glasplatte mit parallelen Flächen getreten ist, beim Uebergange in die Luft wiederum in der Linie *b c* fortgehen, welche mit *a o* parallel ist. Das Nämliche wird geschehen,

Fig. 13.

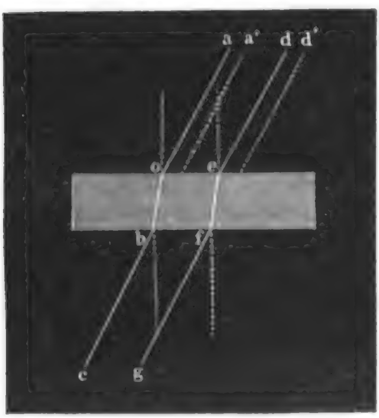
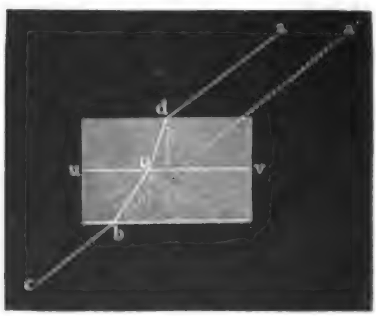


Fig. 14.



wenn die Strahlen durch mehrere durchsichtige Körper, welche mit parallelen Flächen an einander grenzen, hindurchgehen, bevor sie wieder in die Luft gelangen. Fig. 14 sei der Durchschnitt einer Flintglas-

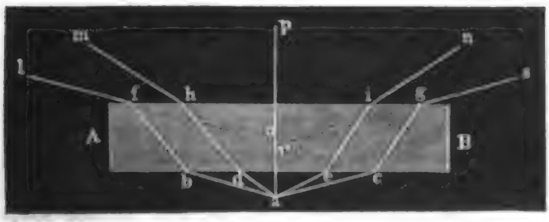
*) Nach Merz (Die neueren Verbesserungen am Mikroskope. 1844) variirt der Brechungsindex des Flintglases von 1,588 bis 1,664.

platte und einer Kronglasplatte, die einander in *uv* berühren. Der ins Flintglas eintretende Strahl *ad* wird dem Einfallslothe stark zugebrochen werden, beim Uebergange in das schwächer brechende Kronglas bei *o* wird er etwas von dem Einfallslothe abgelenkt, und wenn er auf der gegenüber befindlichen Fläche wiederum in die Luft austritt, dann wird er in der Richtung *bc* fortgehen, parallel mit der ursprünglichen Richtung *ad*.

Aus dem Mitgetheilten folgt, dass parallele Strahlen, welche 28
durch ein von parallelen Flächen begrenztes Medium hindurchgegangen sind, parallel bleiben werden, wenn sie auf der gegenüber liegenden Fläche wiederum in die Luft übergehen. Sind in Fig. 13 die einfallenden Strahlen *ao* und *de* parallel, dann sind es auch die gebrochenen Strahlen *bc* und *fg*. Blickt man daher durch eine Glasplatte nach einem entfernteren Gegenstande, so hat die Veränderung, welche in der Richtung jener Strahlen, die nicht senkrecht auf die Oberfläche treffen, zu Wege gebracht wird, nur die Folge, dass der Gegenstand, von welchem die Strahlen kommen, sich scheinbar an einer anderen Stelle befindet. Ein in *c* und *g* befindliches Auge wird einen Gegenstand, von dem die Strahlen *ao* und *de* kommen, in der Richtung *ca'* und *gd'* wahrnehmen.

Wenn aber die auffallenden Strahlen divergirende sind, dann 29
beschränkt sich der Einfluss eines Mediums mit parallelen Oberflächen nicht auf die einfache Abänderung der scheinbaren Richtung des Objectes. In Fig. 15 sei *AB* wiederum der Durchschnitt einer Glasplatte, und von dem leuchtenden Punkte *a* gehe ein Lichtkegel aus. Die äussersten Strahlen dieses Kegels, *ab* und *ac*, werden beim Uebergange ins Glas am stärksten gebrochen werden, weil sie unter den spitzigsten Winkeln auf die Oberfläche treffen. Nach dem Wiederaustritte aus dem Glase werden sie in der Luft in den Richtungen *fl* und *gs* fortgehen, deren Verlängerungen in *o* zusammentreffen. Die mehr nach innen, nahe der Axe *ap*, auf die Oberfläche des Glases fallenden Strahlen *ad* und *ae* gehen auf der anderen Seite in der Richtung *hm* und *in* fort, deren Verlängerungen sich in *r* treffen. Für ein Auge, welches die von *a* kommenden Strahlen nach dem Durchtritte durch die Glasplatte aufnimmt, werden dieselben nicht nur scheinbar von einem Punkte kommen, welcher näher dem Glase oder selbst in dem Glase liegt, sondern der leuchtende Punkt wird sich als eine Reihe über einander in der Axe befindlicher leuchtender Punkte darstellen.

Fig. 15.



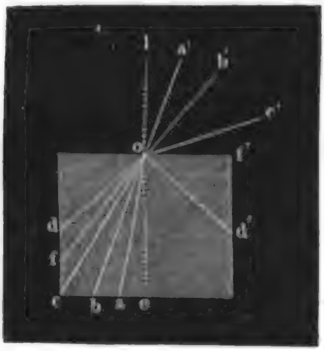
Denkt man sich nun statt des einzelnen leuchtenden Punktes ein

Object, von dem eine Menge Lichtkegel ausgehen, so wird in gleicher Weise eine Reihe sich deckender Bilder des Objectes entstehen, die auf die Deutlichkeit des Sehens einen ähnlichen Einfluss ausüben, wie es von der sphärischen Aberration bei Spiegeln (§. 20) angegeben worden ist und wie es weiterhin von den Linsen wird nachgewiesen werden.

Dieser Einfluss einer Glasplatte auf den Gang der Strahlen, welche von sehr nahen Objecten kommen, werden wir später als einen Grund kennen lernen, weshalb die Dicke der Glasplatten, womit man die mikroskopischen Objecte bei der Betrachtung zu bedecken pflegt, keineswegs ohne Einfluss auf die Deutlichkeit des Bildes ist.

30 Tritt ein Lichtstrahl aus Glas in Luft, z. B. in Fig. 16 die Strahlen *ao*, *bo* und *co*, so folgt aus dem Bisherigen, dass die gebrochenen Strahlen *oa'*, *ob'* und *oc'* sich immer weiter vom Einfallslothe *lo* entfernen werden, je grösser der Einfallswinkel wird. Aus der Figur ersieht man nun deutlich, dass für Strahlen, die in Glas oder in einem anderen dichteren Medium verlaufen, eine bestimmte Grenze da sein muss, wo sie noch in die Luft übergehen können. Vergrösserte sich nämlich der Winkel *coe*, etwa bis *foe*, dann würde der gebrochene Strahl an der Oberfläche nach *f'* verlaufen und der Brechungswinkel *lof* hätte 90°. Dieser grösstmögliche Winkel (in Fig. 16 *foe*) heisst der Grenzwinkel.

Fig. 16.



Seine Grösse wechselt natürlich im Verhältniss zum Brechungsindex; er ist um so kleiner, je grösser dieser ist. Für Kronglas mit dem Brechungsindex 1,533 ist der Grenzwinkel = 40° 43', für Flintglas mit dem Brechungsindex 1,6 ist er = 38° 41'.

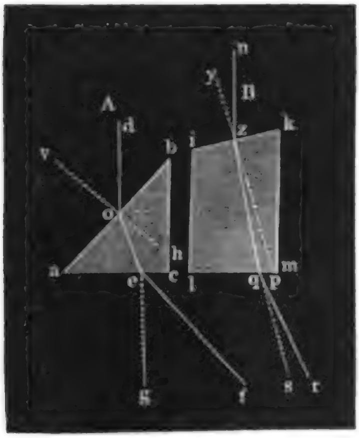
31 Jeder noch schiefer auffallende Strahl, z. B. in Fig. 16 der Strahl *do*, gelangt gar nicht mehr in die Luft, sondern an der Grenze zwischen der Glas- und Luftoberfläche erfährt er eine Reflexion in der Richtung *od'*, und zwar nach dem gewöhnlichen Reflexionsgesetze spiegelnder Oberflächen, wonach der Reflexionswinkel dem Einfallswinkel gleich ist. Da es der einzige Fall ist, wo die Reflexion als eine ganz vollständige erfolgt, so pflegt man diesen Fall als **totale Reflexion** zu bezeichnen. Weiterhin wird sich zeigen, dass die Einrichtung mehrerer mikroskopischer Apparate auf diesem Principe beruht.

Bemerkt muss aber werden, dass selbst bei der totalen Reflexion nicht alle Lichtstrahlen ohne Verlust wieder austreten; denn einestheils wird an jeder Oberfläche ein Theil der Strahlen reflectirt, anderentheils wird ein Theil der Lichtstrahlen durch das brechende Medium unregelmässig zerstreut.

Betrachten wir jetzt, was nach den oben kurz entwickelten Grundgesetzen der Strahlenbrechung geschehen muss, wenn die Grenzflächen der brechenden Medien nicht unter einander parallel sind. 32

Ist (Fig. 17 A.) *abc* der Durchschnitt eines gläsernen Prisma, auf dessen Oberfläche *ab* ein Strahl *do* fällt, so wird dieser nach dem Einfallslothe *oh* hin gebrochen werden, und wenn er an der gegenüberstehenden Fläche bei *e* in die Luft übergeht, so wird er vom Einfallslothe *eg* hinweg gebrochen werden und in der Richtung *ef* fortgehen.

Fig. 17.



Wäre der Einfallswinkel *dov* kleiner, so würde auch die Abweichung geringer ausfallen. So ist es Fig 17 B., wo der Strahl *nz* einen spitzeren Winkel mit dem Einfallslothe *yz* bildet. Der weniger gebrochene Strahl wird bei *q* in die Luft gelangen und in der Richtung *qr* weiter gehen, das heisst weniger schief, als wenn er in *A* in der Richtung *ef* verläuft.

Kehren wir die hier vorgestellten Durchschnitte in Gedanken um, so müssen sich die gebrochenen Strahlen *ef* und *qr*, statt nach rechts, natürlich eben soweit nach links vom Einfallslothe entfernen. Vereinigen wir dann diese Durchschnitte und setzen noch eine Glasplatte mit parallelen Oberflächen dazwischen, so erhalten wir Fig. 18 (a. f. S). Wir sehen aber hier, dass eine bestimmte Form der Oberfläche möglich ist, wobei alle mitten auf die Flächen *ab*, *bc*, *cd*, *de* und *ef* fallenden Strahlen, nachdem sie durch ein Glas gegangen sind, convergiren und in einem Punkte *x* sich vereinigen.

Ueberlegen wir ferner, welchen Weg (Fig. 19 A.) der Strahl *ef* nehmen muss, der parallel mit dem Einfallslothe auf die Fläche *ad* fällt, so ergiebt sich, dass derselbe beim Uebergange in die Luft vom Perpendikel *ig* abgelenkt werden und in der Richtung *gh* fortgehen muss. Demnach wird in Fig. 19 B. von den parallel auffallenden Strahlen *ab*, *cd* und *ef* nur *cd* unverändert fortgehen, wenn er aus Luft in Glas und aus Glas wieder in Luft tritt; die seitlich einfallenden Strahlen *ab* und *ef* dagegen werden in den Richtungen *b'a'* und *f'e'* fortgehen, also nicht mehr parallel, sondern divergirend. 33

Auf diesen Principien beruht die Theorie der Linsen. Denkt man sich nämlich Fig. 18 als Durchschnitt eines Theils von einem regelmässig vielflächigen Körper, so hat man darin die Wirkung einer Hauptklasse von Linsen, der **positiven oder Sammellinsen** versinnlicht, in 34

Fig. 19 B. aber stellt sich die Wirkung der **negativen** oder **Zerstreuungslinsen** dar.

Fig. 18.

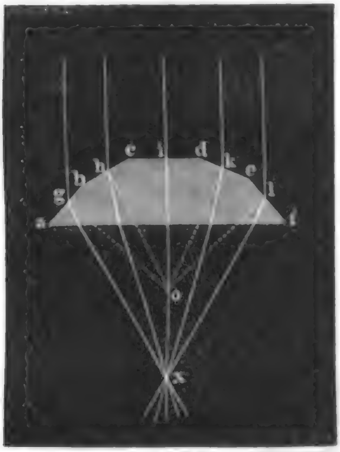
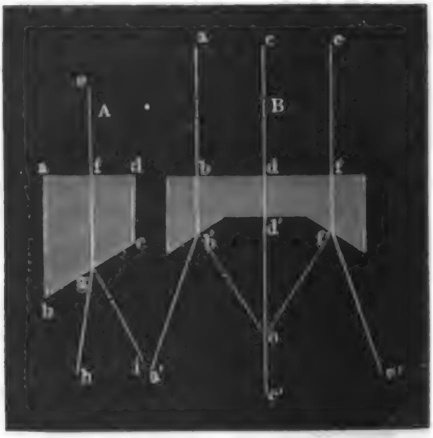


Fig. 19.

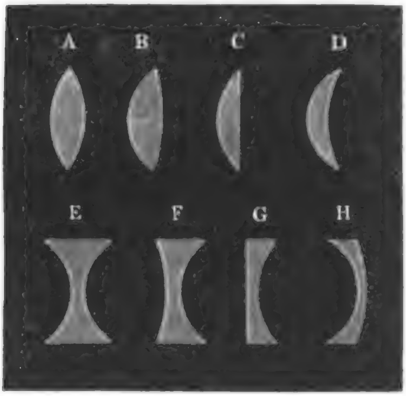


Man unterscheidet wieder verschiedene Arten in diesen beiden Hauptklassen von Linsen, und ausserdem können auch beide Hauptformen, die mit convexen und die mit concaven Oberflächen, mit einander verbunden sein.

Zu den Sammellinsen gehören:

1) Die biconvexe, deren beide Flächen eine gleiche Krümmung (Fig. 20 A.) oder eine ungleiche Krümmung (Fig. 20 B.) besitzen;

Fig. 20.



2) die planconvexe (Fig. 20 C.);

3) der convergirende Meniskus (Fig. 20 D.), eine concavconvexe Linse, deren concave Fläche einen grösseren Radius besitzt, als die gewölbte.

Zu den Zerstreuungslinsen gehören:

4) die biconcave, deren beide Flächen eine gleiche Krümmung (Fig. 20 E.) oder eine ungleiche Krümmung (Fig. 20 F.) besitzen;

5) die planconcave (Fig. 20 G.);

6) der divergirende Meniskus (Fig. 20 H.), dessen gewölbte Oberfläche einen grösseren Radius besitzt, als die concave.

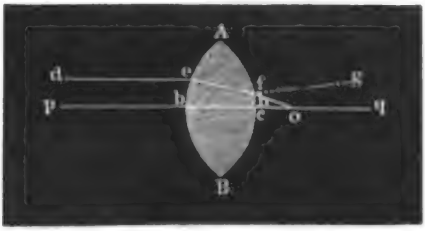
Der einfache Meniskus (Fig. 21), woran beide Flächen die gleiche Krümmung besitzen, gehört nicht zu den Linsen.

Die gerade Linie, welche durch die Mitte einer Linse geht und 35
senkrecht auf der die Linsenränder schneidenden Fläche steht, heisst die optische Axe der Linse. Für die biconvexe Linse *AB* (Fig. 22) ist die Linie *pq* diese Axe.

Fig. 21.



Fig. 22.



36. Die Linsen für optische Instrumente müssen immer genau 36
centrirt sein, d. h. die Punkte *b* und *c* (Fig. 22), in denen die optische Axe die Flächen schneidet, müssen gleichweit von allen Randpunkten entfernt sein. Man erkennt es daran, dass der Rand der Linse überall gleiche Dicke hat. Der Punkt in der Mitte einer genau centrirten Linse heisst der optische Mittelpunkt. Derselbe liegt stets in der Axe der Linse, mehr oder weniger entfernt von beiden Oberflächen, je nach der Form dieser letzteren.

Nach der vorhin gegebenen Entwickelung kann man sich die 37
convexe oder concave Oberfläche einer Linse aus einer unendlichen Anzahl ebener Flächen zusammengesetzt denken, auf denen die Radien jener Kugel, welche durch diese Flächen begrenzt wird, eben so viele Einfallslothe oder Perpendikel bilden, nämlich *og*, *oh*, *oi*, *ok* und *ol* in Fig. 18, oder *ob'*, *od'* und *of'* in Fig. 19 B. Untersuchen wir nun, welchen Weg die Lichtstrahlen durch Linsen von verschiedener Gestalt nehmen müssen, und zwar zuerst und hauptsächlich durch Sammellinsen.

Trifft ein Strahl *de* (Fig. 22), der von einem unendlich fernen leuchtenden Punkte, z. B. von der Sonne kommt, parallel mit der optischen Axe *pq* auf die Oberfläche einer biconvexen Glaslinse, so wird er nach dem Einfallslothe *eh* zu gebrochen, kommt also bei *f* aus dem Glase heraus und biegt sich dann wiederum vom Einfallslothe *fg* ab, so dass er die optische Axe in *o* schneidet. Dies geschieht mit allen Strahlen, die, wie in Fig. 23 (a. f. S.), parallel mit der optischen Axe auf die Oberfläche treffen und sich in dem nämlichen Punkte *o* schneiden. Man nennt diesen Punkt den Hauptbrennpunkt der Linse.

Offenbar giebt es für planconvexe Linsen einen solchen Vereinigungspunkt. Hier muss man aber zwei Fälle unterscheiden. Ist die gewölbte Oberfläche dem Lichte zugekehrt (Fig. 24 a. f. S.), dann fallen die parallelen Strahlen schief auf und beim Uebergange ins Glas nehmen

sie schon eine convergirende Richtung an. Treffen dagegen die Strahlen auf die platte Oberfläche (Fig 25), so gehen sie unverändert durch das Glas hindurch und erst dann, wenn sie auf der gewölbten Seite in die Luft treten, erfolgt ihre Brechung.

Fig. 23.

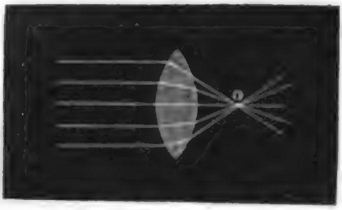


Fig. 24.

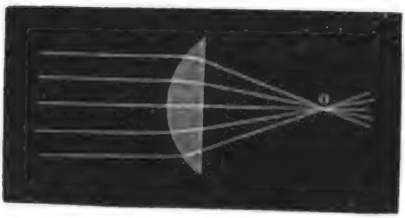


Fig. 25.

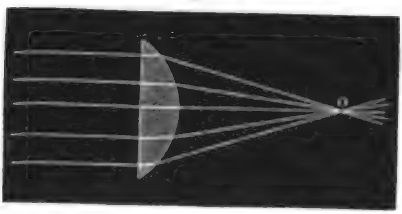
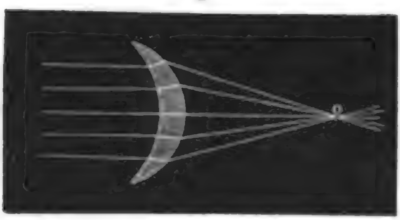


Fig. 26.



Der Weg paralleler Strahlen durch einen convergirenden Meniskus ist in Fig. 26 und Fig. 27 dargestellt.

38

Der Abstand des Hauptbrennpunktes vom optischen Mittelpunkte der Linse hängt erstens von dem Krümmungsgrade beider Oberflächen und zweitens vom Brechungsvermögen des benutzten Mediums ab*).

Für gewöhnliches Glas mit dem Brechungsindex 1,5 lehrt die Berechnung, dass bei einer planconvexen Linse (Fig. 24) die Brennweite gleich ist dem Durchmesser einer Kugel, der die gewölbte Oberfläche der Linse als Theil angehört. Eine biconvexe gläserne Linse (Fig. 23) mit gleichen Krümmungsflächen hat den Brennpunkt gerade in der Hälfte dieses Abstandes, nämlich im Centrum einer solchen Kugel, die Brennweite ist also der Länge des Radius gleich.

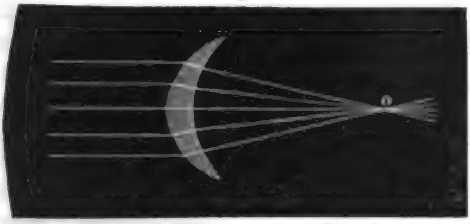
Für praktische Zwecke ist es in der Regel ausreichend, wenn man den Brennpunkt oder Focus auf solche Weise bestimmt, da die Linsen in der Regel aus Glas gefertigt werden, dessen Brechungsindex wenig mehr als 1,5 beträgt. Werden jedoch Substanzen

*) Lässt man die Dicke der Linse ausser Rechnung und bezeichnen R und r die Radien beider Oberflächen, n den Brechungsindex, p die Brennweite, dann ist

$$p = \frac{R\,r}{(n-1)\,(R+r)}.$$

benutzt, die einen anderen Brechungsindex haben, dann wird auch die *Brennweite* eine andere.

Fig. 27.



Würden aus folgenden Substanzen biconvexe Linsen verfertigt, die alle die nämliche Krümmung besässen, für beide Oberflächen z. B. einen Radius von 10 Theilen, etwa Millimetern, hätten, dann würden die Brennweiten, vom optischen Mittelpunkte aus gerechnet, also ohne die Dicke der Linse in Rechnung zu bringen, folgende sein:

	Brechungsindex.	Brennweite.
Gewöhnliches Glas	1,500	10,00 Theile
Kronglas	1,534	9,38 »
Flintglas	1,600	8,33 »
Saphir	1,794	6,29 »
Granat	1,815	6,19 »
Diamant	2,439	3,48 »

Eine Diamantlinse von gleicher Grösse und Gestalt wie eine Glaslinse, wird also eine Brennweite haben, die nur wenig mehr als $^1/_3$ so gross ist, wie jene der Glaslinse.

Es ist natürlicher Weise sehr mühsam, ja bei kleinen mikroskopischen Linsen sogar unausführbar, aus dem Krümmungsgrade und dem Brechungsvermögen der Linsen ihre Brennweite zu berechnen. Ich werde aber nachher einige praktische Mittel angeben, um dieselbe mit hinreichender Genauigkeit bestimmen zu können.

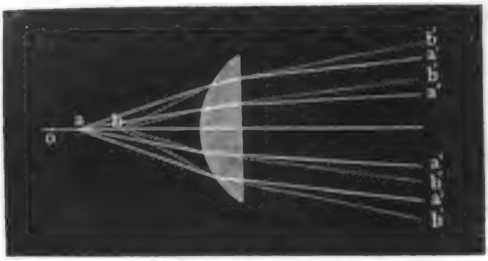
Für unseren Zweck ist es von ganz besonderem Interesse, zu 39
untersuchen, welchen Weg die Strahlen von einem Objecte nehmen, das sich nicht, gleich der Sonne, in unendlicher Entfernung von der Linse befindet, vielmehr ganz nahe ihrer Oberfläche gelegen ist. In diesem Falle gehen von jedem leuchtenden Punkte des Objectes Lichtkegel aus, welche den leuchtenden Punkt des Objectes zur Spitze, die Oberfläche der Linsenöffnung zur Grundfläche haben. Die auf die Linse treffenden Strahlen sind mithin divergirend, und zwar um so stärker, je näher der Linse der leuchtende Punkt befindlich ist.

Dabei sind nun in gleicher Weise, wie es früher (§. 12) von den Hohlspiegeln angegeben wurde, verschiedene Fälle möglich.

Zuerst kann der leuchtende Punkt *o* (Fig. 23, Fig. 24, Fig. 25) gerade im Hauptbrennpunkte der Linse sich befinden. In diesem Falle werden die Strahlen, nachdem sie durch die Linse hindurch sind, unter einander und mit der optischen Axe parallel fortgehen.

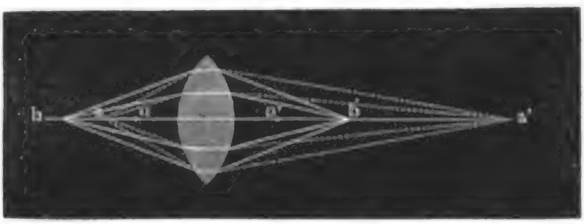
Zweitens kann der leuchtende Punkt zwischen dem Hauptbrennpunkte und der Linsenoberfläche liegen. Es sei *o* (Fig. 28) der Hauptbrennpunkt für parallele Strahlen, die auf der entgegengesetzten Oberfläche der Linse auffallen. Liegt nun der leuchtende Punkt in *a*, so treffen die von ihm ausgehenden Strahlen stark divergirend auf die Linse; innerhalb dieser werden sie zwar einander etwas zugebrochen werden, und beim Uebergange in die Luft auf der anderen Seite der Linse wird dies noch etwas zunehmen, so dass sie als *a' a' a' a'* fortgehen, immer indessen bleiben sie divergirend. Der Divergenzgrad der durch die Linse gebrochenen Strahlen ist um so geringer, je näher dem Hauptbrennpunkte *o* der leuchtende Punkt sich befindet, um so grösser, je näher er der Linsenoberfläche liegt. Befindet er sich z. B. in *b*, dann gehen die Strahlen als *b' b' b' b'* fort. — Wir werden nachher sehen, dass diese Eigenschaft der Linsen, die von einem Objecte kommenden Strahlen weniger divergirend zu machen, der ganzen Theorie ihrer Anwendung im einfachen Mikroskope zu Grunde liegt.

Fig. 28.



Wenn sich dann drittens der leuchtende Punkt in der optischen Axe entfernter von der Linsenoberfläche befindet als der Hauptbrennpunkt, in Fig. 29 z. B., wo *o* den Hauptbrennpunkt darstellt, in *a*, dann werden

Fig. 29.



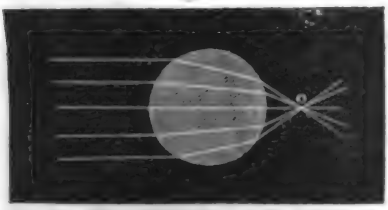
die gebrochenen Strahlen eine convergirende Richtung bekommen und sich irgendwo in der optischen Axe vereinigen, etwa in *a'*. — Befindet sich der leuchtende Punkt in *b*, welche Entfernung der doppelten Brennweite gleichkommt, dann wird der Vereinigungspunkt der Strahlen auf der anderen Seite der Linse in *b'* liegen, d. h. eben so weit hinter der Linse, als der leuchtende Punkt vor der Linse. Bei noch weiterer Entfernung des leuchtenden Punktes nähert sich der Vereinigungspunkt der Strahlen mehr und mehr dem Hauptbrennpunkte *o'*. Rückt dagegen der leuchtende Punkt dem anderen Hauptbrennpunkte *o* näher, dann rückt der Vereinigungspunkt der Strahlen immer weiter und weiter und die Strahlen verlieren

immer mehr an Convergenz, bis sie endlich, von *o* ausgehend, sich nirgends mehr vereinigen, sondern parallel werden.

Strahlen endlich, die gleich *a' a' a' a'* (Fig. 28) convergirend auf eine gewölbte Linse auffallen, werden dadurch nur noch stärker convergirend und vereinigen sich in einem Punkte *a* zwischen dem Hauptbrennpunkte *o* und der Linsenoberfläche. Sind die Strahlen noch stärker convergirend, wie z. B. *b' b' b' b'*, dann liegt ihr Vereinigungspunkt auch noch näher hinter der Linse in *b*. 40

Alles, was bisher über den Gang der Lichtstrahlen durch convexe Linsen angegeben worden ist, gilt ebenso von ihrem Durchgange durch Kugeln. Da dieselben aber im Verhältniss zu Linsen von gleicher Krümmung eine ansehnliche Dicke haben, so muss natürlich ihr Hauptbrennpunkt auch der Oberfläche viel näher liegen, z. B. *o* in Fig. 30. 41

Fig. 30.



Würden nicht bei Glaslinsen, wie wir gesehen haben, in Folge der zweiten Brechung beim Uebergange in die Luft die Strahlen noch stärker convergirend, weshalb eben bei einer planconvexen Linse der Brennpunkt im Umfange der Kugel liegt, zu der die Linsenoberfläche sich als Abschnitt verhält, dann würde der Brennpunkt für eine gläserne Kugel ebenfalls in den Kugelumfang fallen. Dazu kommt es aber nicht, weil die Strahlen hier durch das Glas allein gebrochen werden, bevor sie den Umfang der Kugel erreichen.

Um die Wirkung der Linsen und der Kugeln bequemer vergleichen zu können, habe ich in der folgenden Tabelle die Brennweiten für Kugeln aus den nämlichen Substanzen zusammengestellt, für welche in der vorigen Tabelle die Brennweiten der Linsen angegeben wurden. Es wird dabei die nämliche Krümmung vorausgesetzt und dass der Radius der Kugel in 10 Theile getheilt ist. Es beträgt dann die Entfernung der Brennpunkte *):

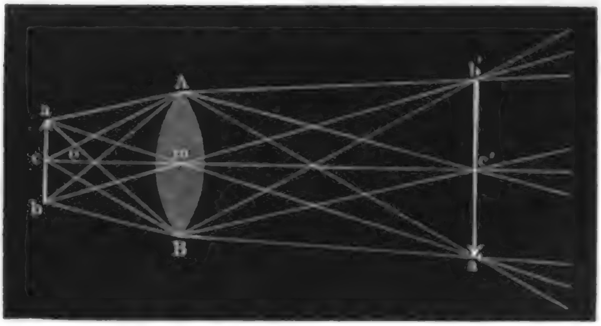
	Vom Mittelpunkte der Kugel.	Von der Oberfläche der Kugel.
Gewöhnliches Glas	15,00	5,00
Kronglas	14,36	4,36
Flintglas	13,33	3,33
Saphir	11,39	1,39
Granat	11,29	1,29
Diamant	8,47	— 1,53

*) Berechnet nach der Formel $p = \frac{(1 - \frac{1}{2}n) r}{n - 1}$, wo *n* den Brechungsindex, *r* den halben Durchmesser, *p* den Abstand des Brennpunktes von der Oberfläche bezeichnet.

Bei Vergleichung der Linsen und Kugeln ergiebt sich somit deutlich der Vorzug der ersteren vor den letzteren, da die Kugeln bei der nämlichen Krümmung der Oberfläche immer den Brennpunkt der Oberfläche weit näher haben. Auch sieht man, dass diese Annäherung bei stark brechenden Substanzen dergestalt zunimmt, dass für eine Diamantkugel der Brennpunkt selbst innerhalb der Kugel liegen würde.

42 Von Objecten, die vor einer Linse befindlich sind, gehen selbstverständlich fast alle Strahlen von Punkten aus, die sich ausserhalb der optischen Axe befinden. Die Strahlen vereinigen sich dann in einem Punkte auf der entgegengesetzten Seite von der optischen Axe. Ist *AB* (Fig. 31) eine Linse, deren Brennpunkt in *o* liegt, dann werden die vom Objecte *ab* aus *c* kommenden Strahlen, die also von einem Punkte der Axe ausgehen, sich auch wieder in einem Punkte der Axe,

Fig. 31.



nämlich in *c'* vereinigen, und die von *a* kommenden Strahlen haben in *a'*, die von *b* kommenden in *b'* ihren Vereinigungspunkt. Da nun alle vom Objecte zwischen *a* und *b* ausgehenden Strahlen sich wieder irgendwo zwischen *a'* und *b'* treffen müssen, so entsteht dort ein Bild des Gegenstandes und zwar ein verkehrtes. Von den Vereinigungspunkten aus setzen die Strahlen ihren Weg wiederum divergirend fort, wie es in der Figur angedeutet ist.

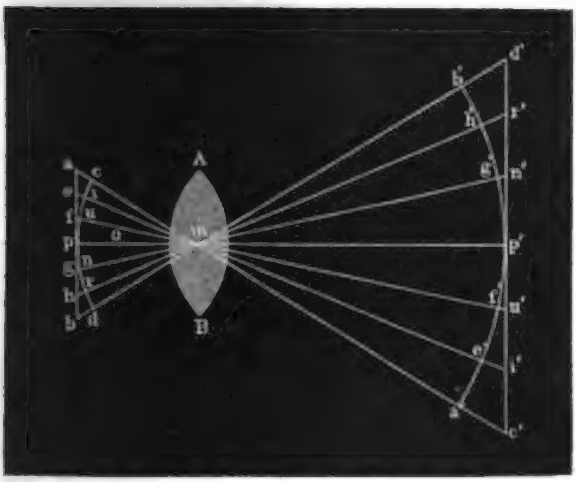
In dem angenommenen Falle befindet sich das Object noch innerhalb der doppelten Brennweite der Linse, und das Bild wird um so viel grösser, als die Linie *cm* oder der Abstand des Objectes vom optischen Mittelpunkte der Linse in der Linie *mc'* enthalten ist, das heisst in dem Abstande zwischen dem Mittelpunkte der Linse und dem Mittelpunkte des Bildes *). Bringt man das Object dem Hauptbrennpunkte näher, dann nimmt nicht nur der Abstand des Bildes, sondern auch das Bild selbst an

*) Der Abstand des Bildes ist gleich $\frac{ap}{a-p}$, wo *a* die Entfernung des Objectes, *p* aber die Brennweite der Linse bedeutet.

Grösse zu. Durch grössere Entfernung des Objectes rückt die Stelle des Bildes der anderen Oberfläche der Linse näher, und sobald seine Entfernung der doppelten Brennweite gleich kommt, sind Object und Bild gleich weit von der Linse entfernt und auch gleich gross. Bei noch grösserer Entfernung des Objectes wird das Bild kleiner und nähert sich mehr und mehr der Linsenoberfläche. Wäre z. B. in Fig. 31 *b' a'* das Object, so würde *a b* dessen Bild sein. Käme endlich das Object in den Hauptbrennpunkt *o* oder noch innerhalb desselben, dann würden alle Strahlen parallel oder divergirend werden und es könnte gar kein Bild mehr entstehen.

Die eben gegebene Darstellung bedarf, um ganz richtig zu sein, 43
noch einer Modification, die namentlich für die Theorie des Mikroskopes wichtig ist. Liegt das Object, von dem die Strahlen ausgehen, in einer geraden Ebene, wie sie (Fig. 32) im Durchschnitte *ab* dargestellt ist, dann wird sein Bild nicht in einer geraden, sondern in einer nach einem Kegelschnitte gebogenen Ebene liegen, deren Durchschnitt *b' a'* ist. Es folgt dies daraus, dass die ausserhalb der Axe *pp'* gelegenen Punkte des Objectes, nämlich *f*, *e*, *a* und *g*, *h*, *b*, sich in desto grösserer Entfernung vom optischen Mittelpunkte *m* befinden, je entfernter sie vom Punkte *p* sind, wo die Axe die Ebene schneidet: *fm* ist grösser als *pm*, *em* grösser als *fm*, *am* grösser als *em*, und die Entfernungen *gm*, *km*, und *bm* auf der anderen Seite nehmen in dem nämlichen Verhältniss an Grösse zu.

Fig. 32.



Da nun das Bild der Linse um so näher rückt, je weiter sich der leuchtende Punkt vom optischen Mittelpunkte entfernt, so kann es unmöglich in der geraden Ebene *d'c'* zu liegen kommen, weil sonst die am entferntesten gelegenen Punkte des Objectes, *a* und *b*, den Vereinigungspunkten *d'* und *c'* entsprechen würden, und *md'* und *mc'* grösser sind als *mp'*. Dies widerspricht aber dem so eben aufgestellten Gesetze, dass das Bild der Linse um so näher ist, je weiter das Object von derselben wegrückt. Den Punkten *a* und *b* entsprechen demnach andere Punkte *b'* und *a'*, die sich näher dem optischen Mittelpunkte befinden als der in der Axe

gelegene Vereinigungspunkt *p'*, und das Nämliche gilt in abnehmendem Grade von den übrigen Punkten *e*, *f* u. s. w., deren Strahlen in *f'*, *e'* u. s. w. zusammenkommen. Die Linie, wodurch alle diese Punkte verbunden werden, ist mithin eine krumme, und es nimmt ihre Krümmung in dem Maasse stärker zu, als ihre Punkte weiter von der Axe abliegen.

Auf gleiche Weise lässt sich darthun, dass das Bild des in der geraden Linie *d'c'* liegenden Objectes auf die gekrümmte Linie *cd* fallen wird, und zugleich ergiebt sich auch daraus, dass, wenn die gekrümmte Linie *cd* den Durchschnitt der Ebene bedeutet, worin das Object gelegen ist, dessen Bild in der geraden Ebene liegen muss, deren Durchschnitt *d'c'* ist.

Wird demnach das Bild eines ebenen oder geradlinigen Gegenstandes auf einem platten Schirme aufgefangen, dann kann es nur nahe der Axe scharf begrenzt sein, da auf die entfernteren Theile Strahlenkegel fallen, die bereits vereinigt waren und nun wieder divergiren. Nähert man das Object der Linse, so kann man zwar hierdurch die Bilder dieser entfernteren Punkte in grösserer Schärfe zur Ansicht bringen, aber nur auf Kosten jener in der Nähe der Axe gelegenen Theile, weil alsdann auf diesen Theil des Schirms nur convergirende, noch nicht vereinigte Strahlen fallen.

Um also ein scharf begrenztes Bild zu erhalten, müsste dasselbe auf einer gekrümmten Fläche aufgefangen werden, die mit der Krümmungsebene, worin die Vereinigungspunkte liegen, ganz correspondirt. Dann aber würde an den verschiedenen Punkten des Bildes nicht die gleiche Vergrösserung vorkommen. Die verhältnissmässige Grösse des Bildes nämlich wird bestimmt durch das Verhältniss zwischen der Entfernung des leuchtenden Punktes vom optischen Mittelpunkte und der Entfernung dieses optischen Mittelpunktes vom Vereinigungspunkte der Strahlen; mit anderen Worten, im vorliegenden Falle ist das Verhältniss wie *pm* : *mp'*, *fm* : *mf'*, *em* : *me'*, *am* : *ma'* u. s. w. Man sieht also leicht ein, dass, wenn die Punkte *f'*, *e'*, *a'* u. s. w. sich der Linse in dem Maasse nähern, als *f*, *e*, *a* u. s. w. sich davon entfernen, die Vergrösserung auch mit dem grösseren Abstande der Punkte von der Axe abnehmen muss, und dass also das in *b'a'* aufgefangene Bild in *p'* am meisten, in *a'* und *b'* am wenigsten vergrössert sein wird, und somit das ganze Bild nicht genau allen verschiedenen Theilen des Objects entspricht, sondern etwas Verschobenes bekommt. Man gewahrt dies am besten mittelst einer Linse mit einem Focus von 1 bis 2 Centimeter, die in der gehörigen Entfernung über ein aus viereckigen Maschenräumen zusammengesetztes Stückchen Gaze gehalten wird: die Carrés nach dem Rande des Feldes zu erscheinen alsdann verbogen.

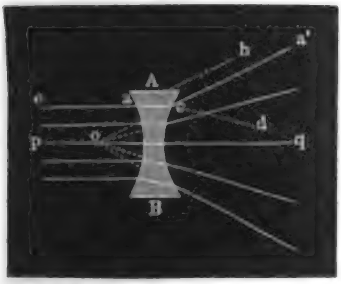
Uebrigens ist es klar, dass in dem Maasse, als das Object sich weiter vom optischen Mittelpunkte entfernt, die Ebene, worin das Bild liegt, sich mehr und mehr einer geraden nähern wird. Ihre Krümmung wird also im Allgemeinen abnehmen, sowie die Brennweite der Linse zunimmt, und umgekehrt wird sie zunehmen, wenn die Brennweite abnimmt;

bei der nämlichen Linse aber wird die Krümmung dieser Ebene durch *Annäherung* des Objectes zunehmen, und durch dessen Entfernung von der *Linse* abnehmen.

Wenden wir uns nun zum Verlaufe der Lichtstrahlen in **Zerstreuungslinsen**, so müssen wir wiederum im Auge behalten, in welcher Richtung die Strahlen gingen, bevor sie die Linse erreichen. 44

Der Strahl *ea* (Fig. 33), welcher mit der optischen Axe *pq* parallel geht, wird, wenn er die concave Oberfläche der biconcaven Linse *AB* erreicht, dem Einfallslothe *ab* zugebrochen werden, und wenn er bei c in die Luft kommt, so wird er sich vom Einfallslothe *cd* entfernen und nach *a'* fortgehen. Alle übrigen mit der Axe parallelen Strahlen nehmen eine ähnliche Richtung an, und es werden also die parallelen Strahlen durch eine Zerstreuungslinse divergirend gemacht. Dabei zeigt sich das Gesetz, dass alle gebrochenen Strahlen solche Richtungen bekommen, vermöge deren ihre Verlängerungen in einem Punkte *o* vorderhalb der Linse zusammentreffen. Diesen Punkt nennt man den **Zerstreuungspunkt für parallele Strahlen**. Man hat ihn auch, aber weniger passend, den Brennpunkt genannt.

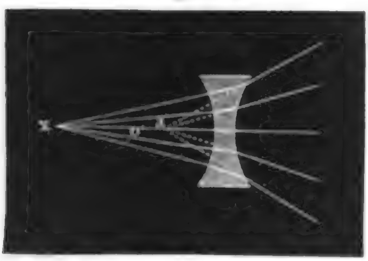
Fig. 33.



Die Stelle dieses Punktes hängt, gleich jener des Brennpunktes einer Sammellinse, vom Krümmungsgrade der Linse und vom Brechungsvermögen ihrer Substanz ab. Hat man Zerstreuungslinsen aus Glas mit einem Brechungsindex von fast 1,5, so kann man annehmen, dass bei einer biconcaven Linse mit gleicher Krümmung beider Seiten die Entfernung des Zerstreuungspunktes der Länge des Radius gleichkommt, und dass bei einer planconcaven Linse diese Entfernung dem doppelten Radius gleichkommt.

Gehen die Strahlen von einem in der Axe gelegenen Punkte *x* 45
(Fig. 34) aus, so treffen sie divergirend auf die Linse, und beim Durchgange durch dieselbe werden sie noch stärker divergirend. Ihre Verlängerungen treffen sich dann in einem Punkte *a*, der immer zwischen dem Zerstreuungspunkte *o* und der Linse gelegen ist.

Fig. 34.



Bei convergirenden Strahlen hat man drei Fälle zu unterscheiden: 46
a) Haben sie eine Richtung, wie *a'c* u. s. w. in Fig. 33, so dass ihre Verlängerungen gerade im Zerstreuungspunkte *o* zusammentreffen würden, dann verlassen sie die Linse auf der anderen Seite als parallele Strahlen

b) Sind sie noch stärker convergirend, so dass ihre Verlängerungen, wie in Fig. 34, sich im Punkte *a* schneiden würden, zwischen dem Zerstreuungspunkte *o* und der Linsenoberfläche, dann mindert sich in Folge der Brechung ihre Convergenz, sie vereinigen sich aber noch in einem Punkte *x*. c) Haben endlich die Verlängerungen der convergirenden Strahlen, wie in Fig. 35, ihren Vereinigungspunkt jenseits des Zerstreuungspunktes *o* in *a*, dann werden dieselben, in Folge der Brechung, divergirend, und zwar um so stärker, je entfernter *a* von *o* liegt.

47 Jede Linse lässt um so mehr Licht durch, je grösser ihre Oberfläche ist, d. h. je mehr ihre Oeffnung zunimmt. Oeffnungswinkel nennt man jenen Winkel, welcher durch zwei Linien eingeschlossen wird, die, von gegenüberliegenden Punkten des Linsenrandes ausgehend, im Brennpunkte der Linse zusammentreffen. So ist in Fig. 36 *aob* der

Fig. 35.

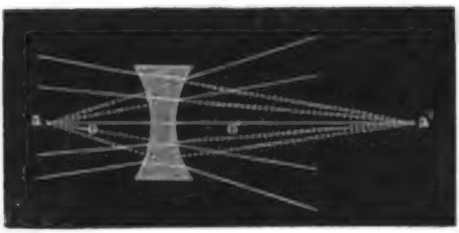
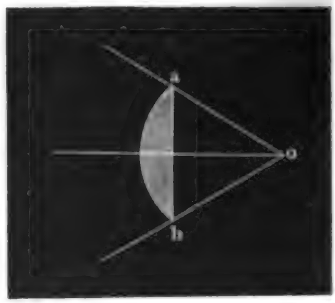


Fig. 36.



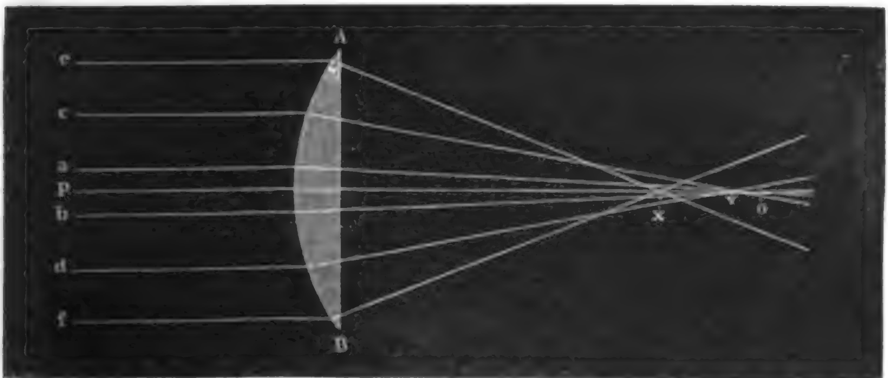
Oeffnungswinkel der Linse *ab*. Je kleiner dieser Winkel wird, je mehr also der Durchmesser der Linse abnimmt, desto mehr verlieren die Bilder an Licht und Helligkeit; denn für zwei Linsen, die gleiche Krümmung, aber ungleiche Durchmesser besitzen, ist das Verhältniss der Lichtstärke gleich den Quadraten dieser Durchmesser. Eine Linse von 5^{mm} Durchmesser wird mithin nur $^1/_4$ des Lichtes durchlassen, wie eine andere Linse von 10^{mm} Durchmesser. Daraus ist ersichtlich, wie vortheilhaft es für Linsen in optischen Instrumenten, zumal in Mikroskopen ist, wenn sie eine möglichst grosse Oeffnung haben.

48 Es kommt nun aber hier wieder eine ähnliche Schwierigkeit vor, wie bei den sphärischen Hohlspiegeln (§. 20), dass nämlich wegen der sphärischen Oberfläche der Linsen nicht die Gesammtheit der Strahlen, welche von einem leuchtenden Punkte ausgehen, sich auch wieder in einem einzigen Punkte vereinigt, und dass es vielmehr in der Wirklichkeit eine unendlich grosse Anzahl von Vereinigungspunkten giebt, die hinter einander liegen. Die hierdurch bewirkte Abweichung bezeichnet man, wie bei den Spiegeln, als sphärische Aberration.

Es sei *AB* (Fig. 37) eine planconvexe Linse, dann werden die zunächst der Axe auffallenden parallelen Strahlen *a* und *b* nach erfolgter Brechung einander beinahe im Brennpunkte *o* schneiden, die entfernter

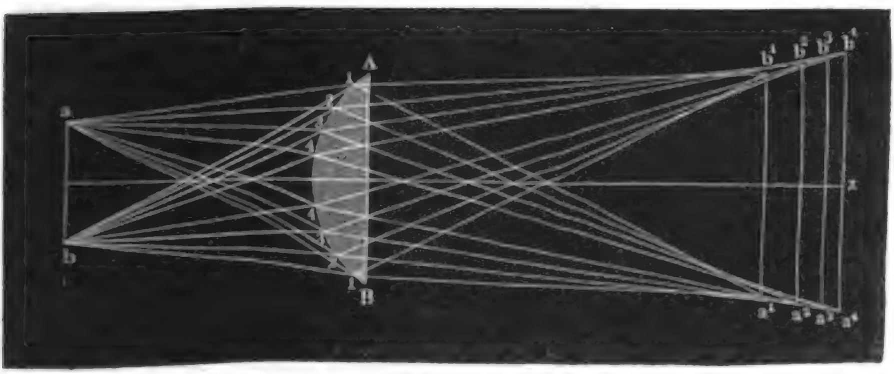
auffallenden Strahlen *c* und *d* werden stärker gebrochen und kommen in *v* zusammen, die zunächst dem Rande auffallenden Strahlen *e* und *f* endlich werden in *x* ihren Vereinigungspunkt haben. Die Entfernung von *x* bis *o* heisst die Länge der sphärischen Aberration.

Fig. 37.



Aus Fig. 38 ersieht man, dass die sphärische Aberration auf die Schärfe und Bestimmtheit der durch sphärische Linsen erhaltenen Bilder nur einen schädlichen Einfluss üben kann. Wenn von den Enden des Objectes *a b* auf verschiedene Punkte der Linsenoberfläche 1, 2, 3, 4, 4, 3, 2, 1 Strahlen auffallen, dann werden jene Strahlen, welche bei 4 durch die Linse gehen, in a^4 und b^4 zur Vereinigung kommen, die bei 3 durchtretenden Strahlen vereinigen sich in a^3 und b^3, jene von 2 in a^2 und b^2, und jene endlich, welche zunächst dem Rande bei 1 durchgehen,

Fig. 38.



werden ihre Vereinigungspunkte in a^1 und b^1 haben. Da man nun die Anzahl der Strahlen, die von jedem leuchtenden Punkte auf jeglichen zwischenliegenden Theil der Linse fallen, als eine unendlich grosse sich denken muss, so müssen zwischen $a^1 b^1$ und $a^4 b^4$ eine unendlich grosse

Anzahl einander zum Theil deckender Bilder liegen, die in Grösse abnehmen in dem Maasse, als die sie bildenden Strahlen näher dem Linsenrande herkommen. Bringt man daher in z einen Schirm an, so wird man das Bild $a^4 b^4$ darauf erhalten und ausserdem noch alle Zerstreuungsbilder von $a^1 b^1$, $a^2 b^2$, $a^3 b^3$ und den übrigen zwischenliegenden Punkten, deren Strahlen wieder auseinander weichen. Das Gesammtbild, welches durch die Vereinigung aller dieser Zerstreuungsbilder entsteht, muss ein verwirrtes und undeutliches sein, und zwar um so mehr, je grösser die Anzahl der einzelnen Bilder, d. h. je grösser die Linsenöffnung ist.

50 Es lässt sich diese Oeffnung auf doppelte Weise verkleinern: man könnte nämlich die zunächst dem Rande auffallenden Strahlen sammeln, oder man könnte blos jene Strahlen auffangen, welche in der Nähe der Axe auftreffen. Das Bild würde in beiden Fällen schärfer werden. Natürlicher Weise giebt man dem Abhalten der Randstrahlen den Vorzug, was auch deshalb mehr Vortheile bietet, weil die Aberration in dem Verhältnisse zunimmt, als man sich weiter von der Axe entfernt; denn sehr unbedeutend, ja fast Null ist sie ganz dicht an der Axe. In der Verkleinerung der Linsenöffnung ist also das Mittel gegeben, die Wirkung der sphärischen Aberration auf ein Minimum zurückzuführen, so dass sie nicht mehr einen merkbaren Einfluss auf die Schärfe des Bildes ausübt. Nur geht diese Verkleinerung mit einem ansehnlichen Verluste an Lichtstärke nothwendig gepaart, wie man an den älteren Mikroskopen sieht, bei deren Verfertigung zur Minderung der sphärischen Aberration nur das eine Mittel bekannt war, dass man die Linsenöffnung sehr klein machte.

51 Könnte man anders geformte Linsen bilden, als solche mit sphärischen Oberflächen, so hätte man ein Mittel, die sphärische Aberration vollständig zu beseitigen. Hätte z. B. die Linse AB (Fig. 37) an jenem Theile ihrer Oberfläche, auf welchen die Strahlen c, d, e und f fallen, eine etwas andere Krümmung, so könnte diese ja der Art sein, dass die gebrochenen Strahlen sich gleich jenen aus der Nähe der Axe kommenden in o schnitten.

Linsen mit elliptischer oder hyperbolischer Krümmung würden in der That diese Forderung erfüllen, und es fehlt in älterer und in neuerer Zeit nicht an Versuchen, solche Linsen zu erhalten. Ihre Darstellung stösst aber auf so viele mechanische Schwierigkeiten, dass man wahrscheinlich die Hoffnung aufgeben muss, jemals Linsen zu schleifen, an denen die sphärische Aberration auf diesem Wege ganz beseitigt ist.

52 Es giebt indessen noch andere Mittel, um diesen Einfluss, wenn auch nicht ganz aufzuheben, doch soweit zu mindern, dass die Linsen noch eine ziemlich grosse Oeffnung bekommen können, ohne dass die Deutlichkeit des Bildes dadurch auffallend leidet. Theorie und Erfahrung haben gelehrt, dass die Grösse der Aberration, selbst bei gleicher Oeffnung der Linse, nicht immer die nämliche ist, dass vielmehr hierbei folgende Gesetze gelten:

1. Bei Linsen mit verschiedenartig gekrümmten Oberflächen ist es nicht einerlei, welche der beiden Flächen dem Objecte zugekehrt ist. Befindet sich dieses in unendlicher Entfernung, dann ist es vortheilhaft, die stärkere Wölbung demselben zuzukehren; ist dagegen das Object nahe dem Focus, wie es bei Linsen in Mikroskopen der Fall ist, dann muss die weniger gewölbte Fläche, bei planconvexen Linsen also die platte Oberfläche, dem Objecte zugekehrt sein.

2. Ist es auch nicht möglich, eine biconvexe Linse dergestalt zu schleifen, dass sie gar keine sphärische Aberration bewirkt, so lässt sich doch ein solches Krümmungsverhältniss beider Oberflächen herstellen, dass die Aberration möglichst gering ausfällt. Bei einer Linse von Glas mit dem Brechungsindex 1,5 wird es erreicht, wenn die Krümmung der einen Oberfläche einen sechsmal grösseren Radius hat als die Krümmung der anderen. Eine solche Linse nennt man **Linse der besten Form**. Wird die Linse aus einer anderen Substanz mit einem anderen Brechungsindex hergestellt, dann ändert sich dieses Verhältniss. Es ist nämlich bei

Kronglas	mit	1,534	Brechungsindex	= 1 : 8,6
Flintglas	»	1,600	»	= 1 : 14,0
»	»	1,650	»	= 1 : 35,4
»	»	1,686	»	= 1 : ∞ *).

Man ersieht hieraus, dass, wenn eine Substanz einen grösseren Brechungsindex hat, die Krümmung der einen Fläche im Verhältniss zur anderen sich stärker abflachen muss, soll die daraus gefertigte Linse eine möglichst geringe Aberration haben. Bei einem Brechungsindex von 1,686 muss de Radius der einen Fläche unendlich gross sein, oder mit anderen Worten, eine Linse der besten Form ist in diesem Falle planconvex.

Wird der Brechungsindex noch grösser, wie bei manchen Sorten Flintglas, beim Saphir, Granat, Diamant u. s. w., dann sollte die eine Fläche selbst concav, die Linse also ein convergirender Meniskus sein.

3. Bei Linsen von gleicher Brennweite und gleicher Oeffnung ist die sphärische Aberration um so geringer, je stärker das Brechungsvermögen der benutzten Linsensubstanz ist. Es folgt dies schon daraus, dass die Krümmung der Oberfläche bei Linsen von gleicher Brennweite schwächer ist, wenn die Substanzen, woraus sie verfertigt sind, einen grösseren Brechungsindex besitzen. Beides wird deutlicher aus der folgenden kleinen Tabelle ersichtlich, worin für Linsen mit 10^{mm} Brenn-

*) Die Berechnung ist nach den Formeln

$$R = \frac{2(n-1)(n+2)}{(2n+1)n} p \text{ und}$$

$$r = \frac{2(n-1)(n+2)}{4+n-2n^2} p$$

gemacht, wo R und r die beiden Radien, n den Brechungsindex und p die Brennweite der Linse bezeichnen.

weite die Länge der Aberration bei parallel auffallenden Strahlen zusammengestellt worden ist *).

Durchmesser der Linsenöffnung.	Biconvexe Glaslinse mit gleicher Krümmung beider Flächen. $n = 1{,}5$	Linsen der besten Form.			
		Glaslinse. $n = 1{,}5$	Flintglaslinse. $n = 1{,}65$	Saphirlinse. $n = 1{,}794$	Diamantlinse. $n = 2{,}439$
10mm	4,17mm	2,68mm	1,85mm	1,45mm	0,73mm
8	2,67	1,72	1,18	0,93	0,64
6	1,50	0,96	0,67	0,52	0,26
4	0,67	0,43	0,30	0,23	0,12
2	0,17	0,11	0,07	0,06	0,03

Durch diese Zahlen wird dargethan, wie wichtig es sein würde, wenn statt Glas eine andere stärker brechende Substanz zur Anfertigung von Linsen benutzt werden könnte. Eine Diamantlinse könnte eine doppelt so grosse Oeffnung haben als eine Glaslinse, also eine viermal grössere Lichtstärke gewähren, ohne dass die Aberration merklich stärker wird.

4. Besteht eine Linse nicht aus Einer Glassorte, ist sie vielmehr eine Verbindung von zwei oder mehr Linsen aus verschiedenen Glassorten von ungleichem Brechungsvermögen, dann lässt sich ein solches Verhältniss zwischen der Form und dem Brechungsvermögen dieser verschiedenen Linsen herstellen, dass eine merkliche Verbesserung der sphärischen Aberration dadurch erreicht wird. Bei Betrachtung der Mittel, wodurch die chromatische Aberration sich beseitigen lässt, wird mehr darüber angegeben werden.

5. Endlich giebt es noch ein Mittel, den schädlichen Einfluss der sphärischen Aberration zu mindern, wenn man nämlich zwei oder drei Linsen mit verhältnissmässig schwachen Krümmungen zu einem Systeme von Linsen verbindet, welches gleich einer einzigen stärker gekrümmten Linse wirkt, dabei aber den Linsen eine entsprechende Form giebt und

*) Die allgemeine Formel zur Berechnung der Aberration ist:

$$\frac{n p x^2}{2(n-1)^2}\left(\frac{n}{p^2} - \frac{(2n+1)(n-1)}{nrp} + \frac{(n+2)(n-1)^2}{n^2 r^2}\right),$$

wo n den Brechungsindex bezeichnet, x den halben Durchmesser der Linse, p die Brennweite, r den Radius der Krümmung, welche dem Objecte zugekehrt ist.

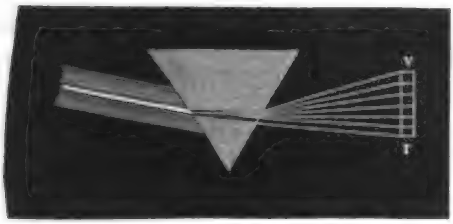
Für die Berechnung der möglich kleinsten Aberration bei Linsen von bester Form ist die Formel $\frac{n(4n-1)x^2}{8(n-1)^2(n+2)p}$ zu Grunde gelegt.

sie besonders in genauen Abstand eine von der anderen bringt. Davon wird später noch die Rede sein, wenn von den Linsensystemen und deren Benutzung in Mikroskopen im Besonderen gehandelt wird.

Eine andere Unvollkommenheit der Linsen, wodurch noch mehr 53
als durch die sphärische Aberration ein nachtheiliger Einfluss auf die Schärfe der Bilder entsteht, beruht darin, dass verschiedenfarbige Lichtstrahlen ungleich gebrochen werden und dadurch ebenfalls eine Abweichung bedingen, die man als **chromatische Aberration** zu bezeichnen pflegt.

Das weisse Licht kann man als eine Zusammensetzung aus einer unendlichen Menge von Strahlen ansehen, deren jeder beim Durchgange durch lichtbrechende Medien in einem verschiedenen Grade von der ursprünglichen Richtung abgelenkt wird. In dem Bilde, welches entsteht, wenn man ein Bündel Sonnenstrahlen durch ein Prisma gehen lässt (Fig. 39), unterscheidet man zwar nur sieben Hauptfarben, nämlich Roth, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo und Violet, die man gewöhnlich als Strahlen bezeichnet: die am stärksten brechbaren befinden sich am violetten Ende *v*, die am wenigsten brechbaren am rothen Ende *r*. Es besteht aber jeder dieser Strahlen wieder aus einer zahllosen Menge von Strahlen mit gradweise zunehmender Brechbarkeit, und dazu kommen noch die sogenannten unsichtbaren Strahlen, die thermischen und die chemischen.

Fig. 39.



Da die Farbenfelder nirgends bestimmt abgegrenzt sind, so be- 54
nutzt man nach **Frauenhofer's** Vorgange einzelne dunklere Streifen in dem sogenannten Sonnenspectrum, die stets die nämliche Stelle einnehmen, als feste Punkte, um die verschiedene Brechbarkeit der Strahlen zu bestimmen. Sieben von diesen Streifen, welche zumeist in das Auge fallen, sind von **Frauenhofer** durch eben so viele Buchstaben *B*, *C* . . . . *H* bezeichnet worden. Bestimmt man ihre relative Stellung in dem Sonnenspectrum, welches durch Prismen von verschiedenen Substanzen erhalten wird, so findet man die Brechungsindices jener Strahlen, welche unmittelbar an diese dunklen Streifen grenzen. Die also erhaltenen Strahlen drücken aber das **Farbenzerstreuungsvermögen** oder **Dispersionsvermögen** der brechenden Medien aus.

Bei Kronglas mit dem mittleren Brechungsindex 1,5342 und bei *Flintglas* mit dem mittleren Brechungsindex 1,6490 haben die verschiedenen Strahlen folgende Brechungswerthe:

		Kronglas.	Flintglas.
Aeusserstes Ende von Roth . .	B	1,5258	1,6277
Mitte von Roth	C	1,5268	1,6297
Orange	D	1,5296	1,6350
Grenze zwischen Gelb und Grün	E	1,5330	1,6420
Grenze zwischen Grün und Blau	F	1,5361	1,6483
Indigo	G	1,5417	1,6603
Violet	H	1,5466	1,6711

Man ersieht aus diesen Zahlen auf der Stelle, dass Flintglas ein weit stäıkeres Dispersionsvermögen besitzt als Kronglas. Zieht man nämlich den Brechungsindex für B von jenem für H ab, so erhält man für das hier gebrauchte Kronglas 0,0208, während diese Differenz für das Flinglas 0,0434, also mehr denn das Doppelte beträgt.

55 Dividirt man diese Zahlen durch den um 1 verminderten mittleren Brechungsexponenten, so erhält man die Dispersion dieser Substanzen. Dieselbe ist für das benutzte Kronglas $\frac{0,0208}{0,5342} = 0,039$ und für das Flintglas $\frac{0,0434}{0,6490} = 0,067$. Auf diese Weise hat man die Farbendispersion für folgende Substanzen gefunden:

Kronglas von verschiedener Constitution . . .	0,036 bis 0,039
Flintglas » » » . . .	0,050 bis 0,067

Boraxglas (boraxsaures Blei)	0,074
Topas	0,024
Saphir	0,026
Granat	0,027
Beryll	0,037
Diamant	0,038
Canadabalsam	0,045

Vergleicht man diese Zahlen mit den früher (§. 26) angegebenen Brechungsexponenten dieser Substanzen, dann bemerkt man sogleich, dass das Dispersionsvermögen mit dem Brechungsvermögen keineswegs gleichen Schritt hält.

56 Untersuchen wir jetzt, bevor weiter gegangen wird, welchen Einfluss die Farbendispersion auf jene Bilder haben wird, welche durch Linsen aus einem einzigen homogenen Stoffe entstehen. Auf die biconvexe Linse AB (Fig. I.) falle weisses Licht, dessen Strahlen der Axe pq parallel sind. Nur die Grenzstrahlen des auffallenden Lichtbündels, näm-

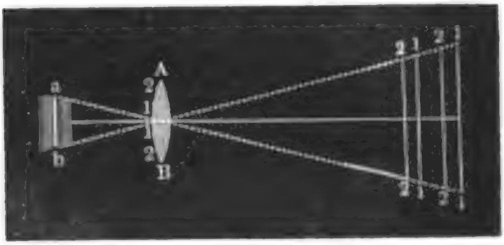
lich *ab* und *cd*, sind abgebildet. Nun wird der weisse Strahl *ab* in dem Momente, wo er bei *b* ins Glas tritt, in die zusammensetzenden verschiedenfarbigen Strahlen zerlegt werden: die rothen Strahlen, als die wenigst brechbaren, werden nach aussen liegen und die Axe irgendwo in *r* schneiden und zwar jenseits *o*, des mittleren Brennpunktes der Linse; die violetten Strahlen, als die stärkst brechbaren werden nach innen zu liegen kommen und die Axe diesseits *o* in *v* schneiden. Zwischen den rothen und violetten Strahlen befinden sich dann die übrigen farbigen Strahlen, die irgendwo in der Axe zwischen *r* und *v* für sich zusammentreffen. Das Nämliche wird auch mit dem Strahle *cd* geschehen, und — wenn wir für den Augenblick vom Einflusse der sphärischen Aberration absehen — mit allen Strahlen, welche die Oberfläche der Linse zwischen *b* und *d* treffen, so dass alle rothen Strahlen ihren Brennpunkt in *r*, alle violetten Strahlen ihren Brennpunkt in *v* haben werden, und zwischen *r* und *v* noch so viele Brennpunkte sich befinden werden, als Strahlen von verschiedener Brechbarkeit im weissen Lichte enthalten sind. Die Entfernung zwischen *r* und *v* heisst die Länge der chromatischen Aberration. Nach dem, was vorhin über das verschiedene Dispersionsvermögen verschiedener Substanzen mitgetheilt wurde, ist es klar, dass diese Länge, je nach der Verschiedenheit der brechenden Substanz, woraus die Linse besteht, verschieden ausfallen wird, dass sie z. B. bei einer Flintglaslinse ungefähr doppelt so gross sein wird, als bei einer Kronglaslinse von gleicher Brennweite.

Den Einfluss der chromatischen Aberration auf die durch Linsen entstehenden Bilder erläutert Fig. II. Die weissen Strahlen von dem Objecte *ab*, welche durch die Linse gebrochen und zerlegt werden, vereinigen sich nicht in $a'b'$ zu einem weissen oder farblosen Bilde, sondern es bilden die rothen Strahlen das rothe Bild $a'''b'''$, die violetten Strahlen das violette Bild $a''b''$. Zwischen diesen beiden wird aber noch eine eben so grosse Anzahl verschieden gefärbter Bilder liegen, als Strahlen von verschiedener Brechbarkeit in dem vom Objecte ausgehenden Lichte enthalten sind. Das rothe Bild ist das grösste, da es am meisten von der Linse entfernt ist. Kommt nun ein Schirm in $b'''a'''$ zu stehen, so erhält man dort nicht ein einzelnes rothes Bild, weil auch die übrigen hinter einander liegenden Bilder sich als Zerstreuungsbilder auf dem Schirme darstellen werden; und da durch die Vereinigung aller verschiedenen Farben des Sonnenbildes wiederum weisses Licht entsteht, so ist auch der Sammelplatz aller Bilder, d. h. der mittlere Theil des gesammten Bildes, farblos, und nur der Rand ist blau, weil dieser durch das Diffusionsbild der nach erfolgter Kreuzung wiederum divergirenden Strahlen gebildet wird. Befindet sich der Schirm in $b''a''$, dann hat das Bild einen rothen Rand. Hält man ihn an die zwischenliegende Stelle $b'a'$, dann werden zwar die farbigen Ränder verschwinden, aber auch dann noch wird das aus Zerstreuungsbildern zusammengesetzte Bild verwirrt und undeutlich sein. 57

58 Diese Verwirrung und Undeutlichkeit nimmt in Folge der sphärischen Aberration noch mehr zu; denn deren nothwendige Wirkung besteht darin, dass die Menge der besonderen farbigen Bilder, aus denen insgesammt Zerstreuungsbilder hervorgehen, noch beträchtlich zunimmt.

Wenn nämlich zur Linse AB (Fig. 40) vom Objecte ab Strahlen gelangen, so werden jene, welche die Linsenoberfläche zunächst der Axe in 1 treffen, sich zu Bildern von den verschiedenen Farben vereinigen, die zwischen 1 und 1 liegen, jene dagegen, welche nahe dem Rande in 2 auftreffen, werden in gleicher Weise zwischen 2 und 2 zu einer Anzahl von Bildern sich vereinigen. Das Nämliche gilt von allen anderen Punkten der Linsenoberfläche, und dem zu Folge wird die Zahl der Bilder zwischen dem Vereinigungspunkte der äussersten violetten Strahlen vom Linsenrande und dem Vereinigungspunkte der äussersten rothen Strahlen, welche nahe der Axe durchgehen, in der That eine unendlich grosse.

Fig. 40.



Wenn daher die chromatische Aberration für sich allein eine regelmässige Aufeinanderfolge von rothen, gelben, grünen Bildern u. s. w. herbeiführen würde, so wird diese Ordnung durch die hinzutretende sphärische Aberration gestört, so dass alle Reihen gefärbter Bilder in einander greifen. Nur werden natürlich die äussersten Grenzen immer durch ein rothes und durch ein violettes Bild eingenommen.

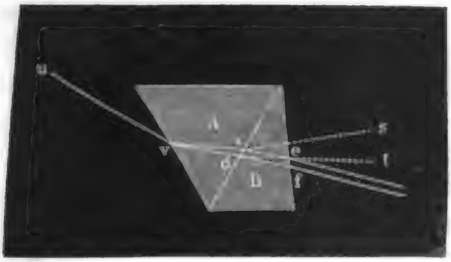
59 Es wird durch diese Darstellung klar geworden sein, welchen nachtheiligen Einfluss beide Arten von Aberration auf die genaue Wahrnehmung durch optische Instrumente äussern müssen, und wie wichtig es ist, dass dieser Einfluss, wenn auch nicht ganz beseitigt, so doch möglichst verringert werde.

Aus den kleinen Tabellen in §. 26 und §. 54 ersieht man, dass das Brechungsvermögen und das Farbenzerstreuungsvermögen keineswegs gleichen Schritt halten. Saphir, Granat und Beryll z. B. besitzen ein weit stärkeres Brechungsvermögen als Glas, aber ein geringeres Dispersionsvermögen. Der Diamant hat gleiches Dispersionsvermögen wie Kronglas, während die Brennweite einer Diamantlinse nur reichlich $^1/_3$ so gross ist, als bei einer Glaslinse mit gleicher Krümmung. Daraus ergiebt sich wiederum der grosse Vorzug der Edelsteinlinsen vor Glaslinsen.

Indessen stehen auch Mittel zu Gebote, um bei letzteren der Wirkung der chromatischen Aberration zu begegnen, mit denen wir uns jetzt beschäftigen wollen.

Aus dem Mitgetheilten ist ersichtlich, dass die farbigen Strahlen des weissen Lichts zur Wahrnehmung gelangen, weil sie beim Durchgange durch brechende Medien in verschiedenem Grade gebrochen werden, also den Parallelismus, den sie im weissen Lichte hatten, verlieren und divergirend werden. Gelingt es daher, den Parallelismus wieder herzustellen, dann vereinigen sich die farbigen Strahlen auch wieder zu weissem Lichte. Das einfachste Beispiel, wie dies geschehen kann, hat man in der Verbindung zweier Prismen aus Kronglas und aus Flintglas (Fig. 41). Ist hier *A* ein Kronglasprisma, so würde ein Strahlenbündel *uv* bei *st* eben so ein gefärbtes Bild geben, wie in Fig. 39. Ist nun aber ein zweites Prisma *B* angesetzt und zwar aus Flintglas, dessen Dispersionsvermögen stärker ist als das von Kronglas, dann werden die beiden Strahlen *c* und *d* beim Uebertritte aus dem einen Prisma ins andere etwas gebrochen werden, der violette Strahl jedoch stärker als der rothe, und dadurch nimmt ihre Divergenz ab. Besteht nun zwischen den Brechungswinkeln der beiden Prismen ein richtiges Verhältniss, welches dem verschiedenen Dispersionsvermögen der beiden Glassorten entspricht, dann werden die rothen und violetten Strahlen beim Uebergange in die Luft bei *e* und *f* einander parallel sein, und zugleich werden sie wegen des stärkeren Brechungsvermögens von Flintglas eine andere Richtung annehmen als das ursprüngliche Strahlenbündel *uv*. 60

Fig. 41.



Um deutlich zu machen, was geschehen muss, um das Nämliche bei Linsen zu erreichen, wird es zweckmässig sein, vorher zu untersuchen, wie Zerstreuungslinsen auf verschiedenfarbige Strahlen einwirken. 61

Wenn auf die planconcave Linse *AB* (Fig. III.) die parallelen weissen Strahlen *ab* und *cd* fallen, dann werden die violetten Strahlen, als die brechbarsten, nach *l* und *l'* gehen, die weniger brechbaren rothen Strahlen aber nach *m* und *m'*. Der Zerstreuungspunkt der rothen Strahlen wird in *r* liegen, jener der violetten in *v*, diesseits des mittleren Zerstreuungspunktes *o*. Man ersieht sogleich, dass hier die relative Lagerung der Strahlen von verschiedener Brechbarkeit gerade umgekehrt ist wie bei Sammellinsen (Fig. I.), wo der rothe Strahl nach oben und aussen liegt.

Das Nämliche findet auch statt, wenn convergirende weisse Strahlen auf eine Zerstreuungslinse fallen. Wenn *ab* und *cd* (Fig IV.) convergirende Strahlen sind, die sich in *f* vereinigt haben würden, falls

nicht die Linse *AB* eingeschoben wäre, so werden sie, aus der Luft kommend, durch die Zerstreuungslinse nach *o* gebrochen werden, dergestalt indessen, dass die stärkst brechbaren violetten Strahlen in *v*, die wenigst brechbaren rothen Strahlen in *r* sich vereinigen werden, d. h. wenn in *v* und *r* Bilder entständen, dann würde das violette das von der Linse entferntere, das rothe das der Linse nähere sein, also gerade umgekehrt wie bei Sammellinsen (Fig. I. und II.).

Diese die Farbenfolge umkehrende Wirkung der Zerstreuungslinsen tritt aber natürlich nur dann hervor, wenn das Medium, aus welchem die Strahlen kommen, ein schwächeres Brechungs- und Dispersionsvermögen für die verschiedenen Lichtstrahlen besitzt, als jenes, woraus die Zerstreuungslinse besteht. Wenn auf die biconvexe Kronglaslinse *AB* (Fig. V.) die Lichtstrahlen *ab* und *cd* fallen, so würden die rothen und violetten Strahlen, wenn sie durch das Glas gegangen und dann beim Uebergange in die Luft gebrochen worden sind, ihren Vereinigungspunkt in *r* und in *v* haben. Wird nun eine planconcave Linse *CD* angefügt, die eine gleiche Krümmung besitzt, als die ihr zugewendete Oberfläche der convexen Linse, dann werden die Strahlen, falls diese Linse ebenfalls aus Kronglas besteht, ihren Weg unverändert durch das Glas fortsetzen: es wirken die beiden vereinigten Linsen ganz wie eine planconvexe Linse aus einem homogenen Medium. Nur die Vereinigungspunkte der Strahlen werden verrückt werden und jetzt in *r'* und in *v'* liegen.

Anders gestaltet sich die Sache, wenn die Zerstreuungslinse ein stärkeres Dispersionsvermögen besitzt als die Sammellinse. Die Zerstreuungslinse wirkt dann in der nämlichen Weise, wie sie es bei Strahlen thut, die aus der Luft kommen, nur in schwächerem Grade, weil die Ungleichheit des Dispersionsvermögens verschiedener Glassorten geringer ist als zwischen Luft und Glas.

Wenn demnach die Zerstreuungslinse aus Flintglas verfertigt wird, dessen Dispersionsvermögen doppelt so gross ist als bei der biconvexen Kronglaslinse, dann werden die durch die Linse *AB* (Fig. VI.) gebrochenen Strahlen nicht mehr den Weg verfolgen wie in Fig. V., vielmehr von demselben etwas abweichen, sobald sie in die stärker brechende Flintglaslinse *CD* gekommen sind. Dies wird aber nicht bei allen Strahlen in gleicher Weise stattfinden, sondern am stärksten bei den violetten, am wenigsten bei den rothen. Ist der Einfluss der concaven Flintglaslinse gross genug, dann geben die verschieden gefärbten Strahlen die divergirende Richtung auf, die sie in Fig. V. besassen, und werden convergirend, ja es kann sogar geschehen, dass der Einfluss der Flintglaslinse jenen der Kronglaslinse so weit übertrifft, dass die beiden Linsen zusammen zwar eine Sammellinse darstellen, der violette Strahl aber den rothen schneidet, und ihre Brennpunkte in *v* und *r* zu liegen kommen. Man hat dann eine Sammellinse, durch welche der Gang der farbigen

Strahlen gerade umgekehrt ist, wie bei einer Sammellinse, die nur aus Einer Glassorte besteht.

Offenbar wird nun zwischen den beiden in Fig. V. und VI. dargestellten Extremen noch ein mittlerer Zustand möglich sein, wie er in Fig. VII. dargestellt ist, wo nämlich die Kronglas- und Flintglaslinse, was Form und Dispersionsvermögen betrifft, in einem so genauen Verhältniss zu einander stehen, dass der Punkt, wo die farbigen Strahlen einander treffen, genau der mittlere Brennpunkt f der Linse ist, und das dort entstehende Bild farblos erscheint oder nur seine natürlichen Farben zeigt.

Eine solche Vereinigung von Linsen nennt man eine **achromatische Doppellinse**. Zwischen beiden Linsen befindet sich gewöhnlich Canadabalsam, dessen Brechungsvermögen jenem des Kronglases ziemlich nahe kommt und dessen Dispersionsvermögen in der Mitte zwischen beiden Glassorten steht. Dadurch wird eine Reflexion an den Oberflächen beider Linsen vermieden, wodurch ein Lichtverlust entstehen würde.

Früher hat man auch achromatische Linsen aus drei verschiedenen Linsen zusammengesetzt; doch kommen dergleichen jetzt nicht mehr in Betracht.

Im vollsten Sinne des Worts indessen kann eine solche Doppellinse niemals achromatisch sein, weil das Verhältniss der Dispersion 62
im Kron- und Flintglase niemals bei allen gefärbten Strahlen vollkommen das nämliche ist. Man kann dies schon an den Sonnenspectra wahrnehmen, welche durch Prismen aus einer der beiden Glassorten erhalten werden. Es zeigt sich nämlich, dass die brechbarsten Strahlen, blau, indigo, violet, in jenem Spectrum, welches durch ein Flintglasprisma erhalten wird, nicht blos absolut, sondern auch relativ einen grössern Raum einnehmen, als in dem durch ein Kronglasprisma erhaltenen Spectrum. Wir sahen vorhin (§. 54), dass die Totaldispersion einer bestimmten Sorte Kronglas = 0,0208, jene einer Sorte Flintglas = 0,0434 ist. Diese beiden Zahlen verhalten sich wie 1 : 2,09 zu einander. Blieb dieses Verhältniss bei allen einzelnen Strahlen das nämliche, dann müsste man immer die nämliche Zahl erhalten, wenn die partiellen Dispersionen jedes bestimmten Abschnittes des Sonnenspectrums für Flintglas und Kronglas mit einander dividirt werden. Den Werth dieser partiellen Dispersionen erhält man, wenn man alle besonders bestimmten Brechungsexponenten der farbigen Strahlen der Reihe nach von einander subtrahirt, gleichwie das Totaldispersionsvermögen dadurch bestimmt wird, dass man den Brechungsindex der rothen Strahlen in B von jenem der violetten Strahlen in H abzieht. Führt man diese Berechnung für die beiden genannten Glassorten aus, so erhält man folgende Differenzzahlen:

	Kronglas		Flintglas.	
$B - C$	0,0010	.	0,0020	= 1 : 2,00
$C - D$	0,0028	.	0,0053	= 1 : 1,89
$D - E$	0,0032	.	0,0070	= 1 : 2,19
$E - F$	0,0031	.	0,0063	= 1 : 2,03
$F - G$	0,0056	.	0,0120	= 1 : 2,15
$G - H$	0,0049	.	0,0108	= 1 : 2,21

Keine dieser Zahlen stellt das allgemeine Verhältniss der Totaldispersion, nämlich 1 : 2,09 dar, sondern im Flintglasspectrum ist Roth und Orange (*B* bis *D*) verhältnissmässig kleiner, Gelb (*D* — *E*) ist grösser, Grün (*E* — *F*) wieder kleiner, Blau, Indigo, Violet dagegen (*F* bis *H*) grösser als im Sonnenspectrum des Kronglases.

Da nun das Verhalten der Partialdispersionen in keinem Falle jenem der totalen oder der mittleren Dispersion zweier Glassorten gleich ist, so folgt hieraus, dass, wenn auch durch die Verbindung einer Kronglaslinse mit einer Flintglaslinse eine vollkommene Vereinigung der rothen und der violetten Strahlen erreicht werden kann, diese Vereinigung für die übrigen farbigen Strahlen noch nicht hergestellt ist. Diese bilden, wenn sich die Strahlen von extremer Brechbarkeit vereinigt haben, immer noch ein rückbleibendes oder sogenanntes s e c u n d ä r e s F a r b e n b i l d.

63 Vollkommener Achromatismus der Linsen ist demnach nicht zu erreichen; bei ihrer Verfertigung ist nur dahin zu streben, dem Achromatismus möglichst nahe zu kommen, einmal durch Erwählen von Glassorten, bei denen die Partialdispersionen möglichst wenig unter einander differiren, und zweitens dadurch, dass den Linsen eine Form gegeben wird, die sich nach den mathematischen Berechnungen als die beste bewährt hat, um jenem Ziele nahe zu kommen. Durch diese Berechnungen, auf welche hier nicht weiter eingegangen werden kann, hat die Verfertigung achromatischer Objectivgläser für Teleskope einen hohen Grad von Sicherheit erlangt. Bei den Objectivgläsern für Mikroskope ist dies, wegen der Kleinheit derselben, nicht der Fall. Das meiste kommt hier noch auf die praktische Uebung des Mechanikus und auf dessen Geduld an, wenn er aus einem grossen Vorrathe von Kronglas- und Flintglaslinsen jene aussucht, welche beim Probiren am besten zu einander passen. Das ist einer der Hauptgründe, weshalb ein Mechanikus, der bereits eine Anzahl Mikroskope verfertigte, viel vor jenem voraus hat, der nur erst wenige verfertigte und dessen Linsenvorrath daher in der Regel kleiner sein wird als bei dem ersteren.

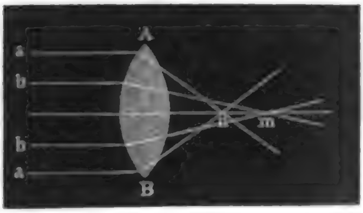
Es folgt aus dem Mitgetheilten soviel, dass, wenn eine achromatische Doppellinse möglichst gut verfertigt ist und die Grenzstrahlen des Sonnenspectrums, die rothen und violetten, sich vereinigen, dennoch an den Rändern der Bilder jederzeit noch Spuren der unvereinigten mittleren farbigen Strahlen wahrgenommen werden. Die Ränder werden daher in diesem Falle einigermaassen grünlichgelb erscheinen. Diese Farbe ist dem Auge unangenehmer als das Hellblaue, und das ist einer der Gründe,

warum man beim Anfertigen mikroskopischer Objectivlinsen der Flintglaslinse ein kleines Uebergewicht zu geben pflegt, damit nämlich der Rand des Bildes einen zarten blauen Saum bekommt. Man nennt dies eine überverbesserte Doppellinse. Ist noch ein zarter rother Saum vorhanden, dann heisst sie eine unterverbesserte.

Die Verbindung von Flintglas und Kronglas dient aber nicht blos dazu, die chromatische Aberration zu verbessern, durch sie wird auch zugleich, wie früher (§. 52) angedeutet wurde, die sphärische Aberration gemindert. Das wird deutlich werden, wenn wir auch hier wieder Zerstreuungslinsen und Sammellinsen mit einander vergleichen.

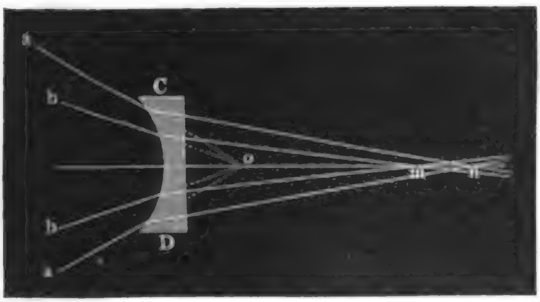
Die biconvexe Linse *AB* (Fig. 42) vereinigt die Randstrahlen *aa* in *n*, die näher der Axe auffallenden Strahlen *bb* in *m*. Der Punkt *n* ist der Linse näher als der Punkt *m*.

Fig. 42.



Fallen auf eine Zerstreuungslinse *CD* (Fig. 43) die convergirenden Strahlen *aa* und *bb*, die keiner sphärischen Aberration unterliegen sollen und sich insgesammt genau in *o* erreichen würden, dann werden die stärker gebrochenen Randstrahlen *aa* in *n*, die weniger gebrochenen Strahlen *bb* in *m* zusammentreffen müssen. Die Vereinigungspunkte *m* und *n* haben also gerade die umgekehrte Lage wie in Fig. 42.

Fig. 43.



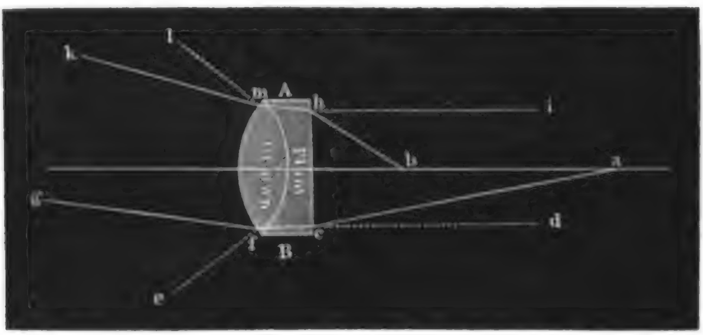
Denkt man sich nun eine Zerstreuungslinse vor einer Sammellinse, so wird, falls beide aus der nämlichen Glassorte bestehen, die Richtung der Strahlen natürlich keine Veränderung erleiden, ausgenommen, dass ihr Vereinigungspunkt weiter von der Linsenoberfläche rückt; die relative Richtung der Randstrahlen und der Axenstrahlen bleibt ganz die nämliche. Ist aber die Sammellinse aus Kronglas, die Zerstreuungslinse aus Flintglas, dann werden die Strahlen beim Uebergange in die dichtere Flintglaslinse eine Brechung erleiden, und da es eine Zerstreuungslinse ist, so wird zu gleicher Zeit ein Streben hervortreten, die relative Richtung der Randstrahlen und der Axenstrahlen umzukehren. Man begreift leicht die Möglichkeit, dass bei einer bestimmten Form beider Linsen die einander gegenüberstehenden Neigungen derselben sich das Gegengewicht

halten, so dass durch die vereinigte Wirkung beider der Brennpunkt der Randstrahlen mit jenem der Axenstrahlen zusammenfällt. Ist in einer solchen Doppellinse zugleich die chromatische Aberration so viel möglich verbessert, dann nennt man sie eine aplanatische.

Eine vollkommene Beseitigung der sphärischen Aberration indessen ist durch dieses Mittel eben so wenig zu erreichen, als die vollständige Aufhebung der chromatischen Aberration, weil die Zerstreuungslinse auf die Randstrahlen immer einen grösseren Einfluss ausübt, als auf die näher der Axe durchgehenden Strahlen.

64 Auf einen anderen Punkt dabei hat Lister (Phil. Trans. 1830 p. 187) noch aufmerksam gemacht. Eine Doppellinse, die beim Durchgange paralleler Strahlen vollkommen frei ist von beiden Aberrationen, wird es nicht mehr sein, sobald die Strahlen eine andere relative Richtung annehmen. Eine andere Doppellinse, die vollkommen aplanatisch ist, wenn von einem bestimmten Punkte ausgehende divergirende Strahlen auf sie fallen, wird weniger aplanatisch sich verhalten, wenn der leuchtende Punkt sich in einem anderen Abstande von der Linse befindet. Ist z. B. *AB* (Fig. 44) eine Doppellinse, durch welche die vom Punkte

Fig. 44.



a ausgehenden Strahlen ohne sphärische Aberration hindurchgehen, so wird für diesen bestimmten Punkt der Einfallswinkel *acd*, welchen der Strahl *ac* mit dem Einfallslothe *cd* bildet, in einem bestimmten Verhältnisse stehen zu dem Austrittswinkel *efg*, welchen der Strahl nach dem Durchgange durch die Linse mit dem Einfallslothe *ef* bildet. Dieses Verhältniss des Einfallswinkels zum Austrittswinkel ändert sich aber, sobald der Punkt *a* der Linse näher rückt: der Einfallswinkel wird grösser, der Austrittswinkel kleiner, und damit erleidet auch der gegenseitige Einfluss, welchen die Linsen in Betreff der sphärischen Aberration auf einander ausüben, eine Veränderung. Der Einfluss der concaven Flintglaslinse wird überwiegend, und es entsteht somit eine überverbesserte Aberration.

Rückt der leuchtende Punkt der Linse immer näher, bis er in *b* an-

kommt, dann ist der Austrittswinkel *kml* (um Verwirrung zu vermeiden, ist er auf der anderen Seite gezeichnet) gerade um so viel kleiner als der Einfallswinkel *bhi*, als bei der früheren Lage in *a* der Einfallswinkel dem Austrittswinkel an Grösse nachstand. In diesem Falle wiegt der Einfluss der einen Linse jenen der anderen wiederum auf, und für den Punkt *b* wirkt die Doppellinse gleich aplanatisch wie für den Punkt *a*.

Bei stärkerer Annäherung an die Linse wird das Verhältniss zwischen den beiden Winkeln wieder abgeändert, die Aberration bleibt aber nun eine unterverbesserte. Das Nämliche gilt auch für den Fall, wo der leuchtende Punkt jenseits *a* zu liegen kommt.

Für jede aplanatische Doppellinse giebt es also nur zwei Punkte, wo die Beseitigung der Aberration eine möglichst vollkommene ist. Lister hat diese beiden Punkte als aplanatische Brennpunkte bezeichnet. Weiterhin werden wir sehen, welche Anwendung hiervon bei der Verfertigung von Mikroskopen zu machen ist. Es wird sich alsdann auch zugleich herausstellen, dass, wenn man zwei oder mehr aplanatische Linsen zu einem Linsensysteme verbindet, eine noch vollkommenere Beseitigung der Aberration erreicht werden kann, als dies je durch eine einzige Doppellinse möglich ist.

Zweiter Abschnitt.

Optische Kraft des menschlichen Auges und ihre Grenzen.

---

65 Sobald das Auge über das Mikroskop zu stehen kommt und hindurch sieht, machen beide zusammen nur einen einzigen optischen Apparat aus. Eine Theorie des Mikroskops und des mikroskopischen Sehens ist deshalb nicht möglich ohne gründliche Kenntniss der Organisation des Auges und der Art und Weise, wie die Gesichtsbilder auf der Netzhaut entstehen. Da aber das Sehen mit blossen Augen in allen physiologischen Handbüchern abgehandelt wird, und die Bekanntschaft damit beim Lesen vorausgesetzt werden darf, so übergehe ich es hier mit Stillschweigen.

Eine Frage indessen bedarf hier einer ausdrücklichen Untersuchung, welche Grenzen nämlich das Sehen mit blossem Auge unter verschiedenen Umständen findet. Die Beantwortung dieser Frage ist schon darum wichtig, weil sie mit der anderen, späterhin besonders zu erörternden Frage in directer Beziehung steht, wo das optische Vermögen des Mikroskopes seine Grenze findet; sie ist aber auch noch aus einem anderen Grunde von Bedeutung, weil nämlich mancherlei Umstände, welche auf die Wahrnehmung der Objecte durch das blosse Auge einen günstigen oder ungünstigen Einfluss üben, auf die Wahrnehmbarkeit der mikroskopischen Objecte einen ganz ähnlichen Einfluss äussern.

66 Bekanntlich besitzt das Auge die Fähigkeit, sich der Entfernung anzupassen, in welcher die Objecte sich befinden. Dieses Accommodationsvermögen hat aber seine Grenzen, und diese sind nicht die nämlichen für verschiedene Augen. Manche können ihre Augen nur für solche Strahlen accommodiren, die mit einem verschiedenen Grade von Divergenz auffallen, andere können abwechselnd parallele und divergi-

rende Strahlen in ihr Auge aufnehmen und zu einem scharfen Netzhautbilde vereinigen; noch andere besitzen dieses Vermögen zwar für parallele Strahlen, aber nicht mehr für solche, die mit stärkerer Divergenz von näher liegenden Gegenständen ausgehen, weil sie Presbyopen sind. Endlich kommt selbst der Fall vor, dass das Auge für convergirende Strahlen sich zu accommodiren im Stande ist, also hyperpresbyopisch wird.

Man redet häufig von einer bestimmten Entfernung des Auges, bei welcher das Sehen am deutlichsten ist. Diese Entfernung hat man wohl selbst die Brennweite des Auges genannt, und wir werden weiterhin sehen, dass sich auch die Berechnung des Vergrösserungsvermögens der Mikroskope darauf stützt. In der Wirklichkeit findet sich aber solch ein bestimmter Augenabstand nicht vor, so wenig als in der Camera obscura eine bestimmte Distanz zwischen dem Objecte und der Linse vorkommt. Es ist daher immer ein vergebliches Bemühen, wenn man diese sogenannte normale Sehweite oder den normalen Deutlichkeitsabstand bestimmen will; für ein Auge, welches durch das Accommodationsvermögen befähigt ist, genaue Netzhautbilder von Gegenständen zu erhalten, mögen diese 10 Meter oder mögen sie nur $^1/_{10}$ Meter entfernt sein, ist die Sehweite von 10 Metern eben so normal wie jene von $^1/_{10}$ Meter. Die normale Sehweite bewegt sich also immer zwischen bestimmten Grenzen, und diese sind ganz identisch mit jenen des Accommodationsvermögens.

Um die normale Sehweite zu ermitteln, hat man sich vornehm- 67
lich solcher Verfahrungsweisen und Apparate (der Optometer nämlich) bedient, die sich alle auf den Scheiner'schen Versuch stützen, wonach ein Gegenstand, z. B. eine Nadel, die sich nicht in der gehörigen Entfernung befindet, doppelt gesehen wird, wenn man durch zwei kleine Oeffnungen darauf hinblickt, deren Entfernung von einander kleiner ist als der Durchmesser der Pupille. Man hat ein doppeltes Bild des Gegenstandes, wenn das Auge soweit davon entfernt ist, dass auf der Netzhaut ein Diffusionsbild entsteht, und einfach erscheint der Gegenstand, wenn er gerade weit genug entfernt ist, dass die Vereinigungspunkte der Strahlen auf die Netzhaut fallen.

Aus den gleichen Gründen wird ein weisser Faden, der über eine schwarze Leiste gespannt ist und durch jene zwei kleinen Oeffnungen angeschaut wird, doppelt erscheinen, und die beiden scheinbaren Fäden kreuzen einander an einem bestimmten Punkte, der dann die Entfernung der normalen Sehweite bezeichnen soll. Auf diese Weise *) habe ich bei

*) Diesem Optometer habe ich vor dem mehr zusammengesetzten Stampfer'schen den Vorzug gegeben, weil durch Anwendung des letzteren das Auge weit mehr angegriffen wird und auch der Punkt schwerer wahrzunehmen ist, wo die beiden Bilder zusammenfliessen. Deshalb erhält man auch mit diesem Optometer in der Regel zu niedrige Werthe. So erhielt z. B. *A* bei zehn Beobachtungen als Minimum 0,137 und als Maximum 0,167 Meter Entfernung, als Mittel aber 0,1495 Meter.

fünf Personen, die alle mit mikroskopischen Untersuchungen vertraut, also ans Genausehen gewöhnt waren, folgende Bestimmungen aufgenommen, und zwar an jenem Auge, dessen sie sich vorzugsweise zur mikroskopischen Beobachtung bedienen. *A* und *Ab* bezeichnen dieselbe Person, *Ab* ist aber mit der Zerstreuungsbrille bewaffnet, die er als Myope gewöhnlich zu tragen pflegt. Die Zahlen sind in der Tabelle in der nämlichen Folge eingetragen, in welcher die Messungen stattfanden, und sie bezeichnen Theile des Meters:

A	*Ab*	*B*
Max. 0,175	0,414	Max. 0,433
0,165	Max. 0,446	Min. 0,310
0,164	0,388	0,341
0,166	Min. 0,364	0,331
0,162	0,385	0,394
0,161	0,368	0,351
Min. 0,145	0,432	0,401
0,157	0,397	0,372
0,162	0,414	0,355
0,160	0,396	0,430
Mittel 0,1617	0,4004	0,3718

C	*D*	*E*
0,302	0,275	0,192
0,322	Max. 0,322	0,191
0,306	0,300	Min. 0,146
Min. 0,224	0,305	0,245
0,306	0,272	Max. 0,328
0,280	0,265	0,285
0,332	0,270	0,280
0,323	0,250	0,295
0,303	0,235	0,295
Max. 0,341	Min. 0,232	0,297
Mittel 0,3039	0,2726	0,2554

Ich habe diese Zahlen absichtlich vollständig mitgetheilt, damit man sehen könne, wie sehr veränderlich der Accommodationszustand des Auges ist, und wie wenig man sich selbst auf das Mittel aus einer grossen Anzahl solcher Messungen verlassen kann. Ein solches Mittel kann niemals als feste Basis für eine Berechnung benutzt werden, weil der wahrscheinliche Fehler zu gross ist. Höchstens können solche Mit-

telwerthe als Annäherungswerthe benutzt werden, wodurch einigermaassen der individuelle Zustand des Auges und die Entfernung, in welcher dasselbe deutlich zu sehen gewohnt ist, sich ausdrückt. In diesem Sinne werde ich davon auch weiterhin Gebrauch machen.

Eine richtigere Vorstellung hiervon sowie vom Accommodations- 68
vermögen des Auges würde man bekommen, wenn es möglich wäre, die Grenzen zu bestimmen, wo sich Objecte befinden müssen, wenn sie ein klares Bild ohne alle Diffusion auf der Netzhaut erzeugen sollen. Für jenen Punkt, der nach dem Auge zu als dieser Grenzpunkt sich darstellt, ist die Sache allerdings mit ziemlicher Sicherheit auszuführen. Bringt man das eine Ende eines Maassstabes gegen das Auge und schiebt nun auf demselben einen Gegenstand, z. B. eine Nadel, hin und her, so wird man nach dem Auge hin alsbald einen Punkt ausfindig machen, wo die Nadelränder nicht mehr ganz scharf erscheinen. Das Bild fällt dann nicht mehr auf die Netzhaut, sondern hinter dieselbe, und auf die Netzhaut treffen nur convergirende Strahlen. Der Moment aber, wo dies beginnt, ist leicht wahrnehmbar, weil das Diffusionsbild in solchem Falle rasch an Grösse und Ausbreitung zunimmt.

Dieser erste Grenzpunkt oder Nähepunkt hatte bei den Personen, auf welche sich die im vorigen Paragraphen enthaltene Tabelle bezieht, folgende in Metern ausgedrückte Werthe:

A	*Ab*	*B*	*C*	*D*	*E*
0,100	0,175	0,135	0,120	0,168	0,125.

Vergleicht man mit diesen Zahlen die mittlere Sehweite, so ergiebt sich allerdings wohl im Allgemeinen, dass einem Auge mit geringer mittlerer Sehweite ein Object auch stärker genähert werden kann, ohne dass demselben das Accommodationsvermögen entsteht; indessen verhält es sich doch nicht ganz ohne Ausnahme auf solche Weise.

Wenn die Bestimmung des Nähepunktes keinerlei Schwierigkeiten 69
bietet, so verhält es sich anders mit dem zweiten Grenzpunkte oder dem Fernpunkte, wo überhaupt ein solcher vorhanden ist, bei Augen nämlich, die nur für divergirende Strahlen von nicht sehr entfernten Gegenständen accommodirt werden können. Entfernt man einen Gegenstand immer weiter vom Auge, so wird er zuletzt zwar in vielen Fällen auf einen Punkt kommen, wo die von ihm ausgehenden Strahlen sich nicht mehr auf der Netzhaut, sondern vielmehr vor der Netzhaut zu einem Bilde vereinigen, so dass nur divergirende Strahlen darauf fallen, wodurch ein Diffusionsbild entsteht. Das Auffinden dieses Punktes fällt aber deshalb sehr schwer, weil der Gegenstand durch das Fernerrücken immer kleinere und kleinere Bilder im Auge erzeugt, die scheinbar noch die nämliche scharfe Begrenzung haben, wie früherhin, wo der Vereinigungspunkt genau auf die Netzhaut fiel. Könnte man jedoch ein solches Netzhautbildchen eines entfernteren Gegenstandes mit einem Vergrösse-

rungsglase betrachten, so dass es gleich gross erschiene, wie das Bild des innerhalb der Grenzen des Accommodationszustandes befindlichen Gegenstandes, dann würde es ohne Zweifel durch seinen nebelartigen Rand in den meisten Fällen als ein Diffusionsbild sich zu erkennen geben. Die Sache lässt sich einigermaassen deutlich machen, wenn man das Bild, welches durch eine vor einem Gegenstande gehaltene Linse geformt wird, auf einem Schirme auffängt. Befindet sich der Gegenstand zunächst in solcher Entfernung, dass das Bild auf dem Schirme vollkommen scharfe Ränder besitzt, so wird man, wenn die Entfernung verkleinert wird, auf der Stelle ein Diffusionsbild wahrnehmen, dessen Undeutlichkeit rasch sich steigert, weil das Bild zugleich auch grösser wird. Rückt man dagegen den Gegenstand weiter von der Linse, so hat man eine Zeit lang noch ein ziemlich scharfes Bild, das allmälig immer kleiner wird; und wenn man es dann durch ein Vergrösserungsglas auf die frühere Grösse zurückbringt, so hat es nebelartige Umrisse.

Dass für Augen, die gerade nicht myopisch sind, wirklich ein solcher zweiter Grenzpunkt des Accommodationsvermögens existirt, wird sich weiterhin deutlich herausstellen. Aus dem Mitgetheilten ist aber ersichtlich, dass seine Bestimmung auf die für den Nähepunkt angegebene Weise nur dann möglich ist, wenn dieser Fernpunkt sich nicht zu weit entfernt vom Auge befindet, also nur bei einem ziemlich bedeutenden Grade von Myopie. Für *A* lag derselbe bei unbewaffnetem Auge in einer Entfernung von 0,270 Meter. Es konnte demnach *A* durch sein Accommodationsvermögen in der Strecke von 0,100 Meter bis 0,270 Meter mit vollkommenster Deutlichkeit sehen. Durch die Zerstreuungsbrille verrückte er den ersten Punkt auf 0,175 Meter. Jetzt gelang es ihm aber nicht mehr, den Fernpunkt zu bestimmen, obwohl durch die Brille nicht die geringste Veränderung in seinem Accommodationsvermögen erzeugt worden sein konnte. Sehr weit entfernte Gegenstände, z. B. den Mond am hellen Himmel, sieht er mit ganz scharfen Rändern.

70 Auf eine Besonderheit des Netzhautbildchens muss hier noch aufmerksam gemacht werden, da sie den Schlüssel giebt zur Erklärung einiger Gesichtserscheinungen. Blickt man auf einen Gegenstand, der stark leuchtet oder erleuchtet ist, so erscheint derselbe immer grösser als ein gleich grosser Gegenstand, der weniger oder gar kein Licht ausstrahlt oder reflectirt. Diese Erscheinung ist unter dem Namen der Irradiation bekannt und erklärt sich aus der seitlichen Ausbreitung des die Netzhaut treffenden Eindrucks. Das wirkliche Netzhautbild kann also ein sehr kleines sein im Verhältniss zu dem Stücke der Netzhaut, die an dem Eindrucke participirt. Das Bild eines Fixsterns z. B. ist fast als ein mathematischer Punkt zu betrachten und doch wird es vom Auge in einer gewissen Ausdehnung wahrgenommen. Je nachdem die Lichtmenge, welche von einem Gegenstande ausstrahlt, geringer ist, wird auch die Irradiation abnehmen; immer aber findet sie in einem

stärkeren oder schwächeren Grade statt und sie muss deshalb den Momenten zugezählt werden, die eine Beschränkung im Unterscheidungsvermögen des Auges bedingen, ungeachtet gerade hierdurch seine Perceptionsfähigkeit für schwache Eindrücke sich steigert.

Neben der Beschränktheit des Accomodationsvermögens und der 71
Irradiation giebt es noch andere allgemeine Ursachen, wodurch das Wahrnehmungsvermögen des Auges beeinträchtigt wird.

Zuvörderst kommt hier die wirkliche und die scheinbare Grösse der Gegenstände in Betracht, welche letztere durch den Gesichtswinkel gemessen wird, unter welchem man die Gegenstände sieht.

Gesichtswinkel oder Sehwinkel heisst jener Winkel, welcher durch die von den Enden eines Gegenstandes ausgehenden und sich in einem Punkte im Innern des Augapfels kreuzenden Strahlen gebildet wird. Jener Punkt heisst der Kreuzungspunkt der Richtungsstrahlen oder Richtungslinien, und er bezeichnet eigentlich die mittlere Entfernung zweier nahe bei einander gelegenen Punkte, die den Namen der Knotenpunkte führen. Nach den Untersuchungen von Listing (Beitrag zur physiologischen Optik. 1845. S. 17) und von Volkmann (Wagner's Handwörterbuch der Physiologie. Art. Sehen, Bd. III. Abthlg. 1. S. 289) liegt der Kreuzungspunkt gleich hinter der Krystalllinse, also etwas vorderhalb des Mittelpunktes oder Drehpunktes des Augapfels. Volkmann fand seinen mittleren Abstand von der Vorderfläche der Hornhaut $= 9{,}93^{mm}$, von der Hinterfläche der Linse $= 0{,}93^{mm}$, von der Netzhaut $= 14{,}02^{mm}$.

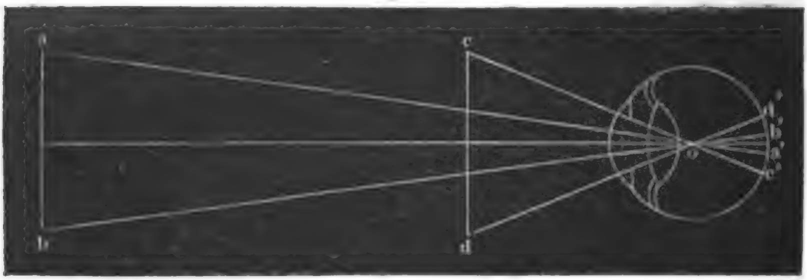
Moser (Dove's Repertorium d. Physik, Bd. 5, S. 364) fand die beiden Knotenpunkte 7,98 und $8{,}19^{mm}$ von der Hornhaut entfernt; das Mittel hieraus oder die Entfernung des Kreuzungspunktes ist $8{,}085^{mm}$, und dann beträgt die Entfernung von der Netzhaut $15{,}865^{mm}$. Listing setzt die letztere in runder Zahl $= 15^{mm}$. Es versteht sich aber von selbst, dass dieser Abstand ein veränderlicher ist, nicht bloss bei verschiedenen Individuen, sondern auch nach dem wechselnden Accommodationszustande des Auges, daher auch diese Zahlen nur als annähernde betrachtet werden können.

Dass die Grösse des Netzhautbildchens von dem Gesichtswinkel ab- 72
hängig ist, unter welchem man den nämlichen Gegenstand wahrnimmt, ist aus Fig. 45 (a. f. S.) ersichtlich. Befindet sich der Gegenstand zwischen *a* und *b*, dann ist *aob* der Gesichtswinkel, und das Netzhautbildchen liegt zwischen *b'* und *a'*. Bringt man den nämlichen Gegenstand in eine dreimal geringere Entfernung von dem Kreuzungspunkte nach *cd*, dann ist der Gesichtswinkel *cod* sowohl wie das Netzhautbildchen *d'c'* dreimal grösser als wo der Gegenstand in *ab* befindlich war.

Besässen nun alle Augen ein gleiches Accommodationsvermögen und wäre die Netzhaut stets gleich empfänglich für Gesichtseindrücke, dann würde auch die kleinste Grösse, bei welcher Gegenstände noch wahrgenommen werden können, für alle Augen gleich sein. Dies ist in-

dessen nicht der Fall, vornehmlich deshalb, weil die Grenzpunkte des deutlichen Sehens für jedes Auge verschieden sind.

Fig. 45.



73 Die Frage nach den kleinsten noch mit blossem Auge wahrnehmbaren Objecten ist nicht ohne Bedeutung für die Theorie des Mikroskops. Ihre Beantwortung wird uns weiterhin auch als Maassstab dienen, um die Wirkung dieses Instruments zu beurtheilen. Nur ist diese Beantwortung nicht leicht mit vollkommener Genauigkeit möglich, da es an Mitteln fehlt, den Durchmesser eines Gegenstandes dergestalt stufenweise zu vermindern, dass der Moment, wo er verschwindet, mit Bestimmtheit sich festsetzen liesse.

Ich werde im Folgenden die Resultate zweier bezüglichen Versuchsreihen mittheilen. Bei der ersten Reihe wurden kleine undurchsichtige Objecte benutzt und zwar von verschiedener Grösse, die einigermaassen wenigstens die Grenzen ihrer Sichtbarkeit und Unsichtbarkeit für die Augen verschiedener Personen zu bestimmen erlaubten. Bei der anderen Versuchsreihe wurden statt wirklicher Objecte nur deren dioptrische Bildchen benutzt, die den grossen Vorzug vor den wirklichen Objecten voraus haben, dass ihre Grösse willkürlich abgeändert werden kann.

74 Zuerst wurden Pollenkörnchen von verschiedenen Pflanzen zwischen zwei vollkommen gereinigte Glasblättchen in der Weise eingeschlossen, dass die einzelnen Körnchen isolirt waren; alle Körnchen waren aber ziemlich kugelrund, weiss und undurchsichtig. Die nachfolgenden Bestimmungen wurden bei durchfallendem Lichte aufgenommen, weil die meisten mikroskopischen Beobachtungen bei diesem Lichte angestellt werden, und weil man bei ihm auch weniger Gefahr läuft, durch Irradiationserscheinungen beirrt zu werden, als bei auffallendem Lichte. Um stets den gleichen Beleuchtungsgrad zu haben, wurden alle Beobachtungen beim Lichte einer Argand'schen Lampe angestellt, die hinter einem matt geschliffenem Glase stand, 1 Meter von dem Objecte entfernt. Die Entfernung dieses letzteren vom Auge war eine solche, bei welcher der Beobachter dasselbe am besten sehen konnte. Die Grösse der Objecte ist auf Tausendtheile des Millimeters berechnet.

	Mittlere Schweite in Metern.	Nähepunkt in Metern.	Wahrnehmbare Objecte.		Nichtwahrnehmbare Objecte.	
A	0,162	0,100	23 Mmm.	$= \frac{1}{43,5}$ mm	—	
Ab	0,400	0,175	46 »	$= \frac{1}{21,5}$	41 Mmm.	$= \frac{1}{24,1}$ mm
B	0,372	0,135	40 »	$= \frac{1}{25}$	37,5 »	$= \frac{1}{27}$
C	0,304	0,120	37,5 »	$= \frac{1}{27}$	32 »	$= \frac{1}{31,3}$
D	0,273	0,168	46 »	$= \frac{1}{21,5}$	41 »	$= \frac{1}{24,1}$
E	0,255	0,125	25,5 »	$= \frac{1}{39,2}$	23 »	$= \frac{1}{43,5}$

Für die Augen der fünf Personen, welche diese Versuche anstellten, stellte sich also $\frac{1}{21,5}$ bis $\frac{1}{43,5}$ mm als die Grenze der Wahrnehmbarkeit runder oder kugelförmiger Körperchen heraus. Vielleicht ist die letztere Zahl selbst noch etwas zu gross, da sie den Durchmesser der kleinsten zur Untersuchung gekommenen Pollenkörnchen angiebt. Nicht immer correspondiren grössere Kleinheit der wahrnehmbaren Objecte und stärkere Annäherung des Nähepunktes mit einander; bei *C* und *D* zeigt sich ein umgekehrtes Verhältniss, was beweist, dass hier in der Empfindlichkeit der Netzhaut eine Verschiedenheit obwaltet. Als Regel darf man aber allerdings annehmen, dass die Fähigkeit, kleinste Objecte wahrzunehmen, mit der Accommodationsfähigkeit für kleine Entfernungen zunimmt. Da nun Myopische im Allgemeinen diese Art der Accommodation im stärksten Grade besitzen, so vermögen sie auch kleine Objecte viel schärfer zu unterscheiden, als Personen, deren Augen diese Fähigkeit in einem geringeren Grade besitzen. Es ist darum wohl mit Sicherheit anzunehmen, dass ein stärker myopisches Auge, als das von *A*, auch noch kleinere Gegenstände wahrnehmen kann. Hueck (Die Bewegung der Krystalllinse. Leipzig 1841, S. 7) gedenkt des Falles, wo für ein Auge der Nähepunkt 20mm, der Fernpunkt 74mm betrug. Ein solches Auge würde, vorausgesetzt, dass es sich sonst in einem guten Zustande befindet, einen fünfmal kleineren Gegenstand, als das Auge von *A*, noch zu erkennen im Stande sein, also einen Gegenstand von nur $\frac{1}{217}$ mm Durchmesser, oder einen solchen, der merklich kleiner wäre als ein Blutkörperchen.

In der Wirklichkeit geht aber das Wahrnehmungsvermögen des 75
blossen Auges noch weiter. Körper, die im Verhältniss zu ihrer Dicke sehr lang sind, wie Draht oder Haare, werden mit grösserer Leichtigkeit gesehen, als viereckige oder runde Körperchen von gleichem Durchmesser. Der Grund dieser Verschiedenheit ist in dem simultanen Eindrucke zu suchen, den die Netzhaut dann auf vielen Punkten ihrer Oberfläche empfängt, also in der Summe der vielen Partialeindrücke. In der That habe ich keine derartig geformten natürlichen Objecte ausfindig machen können, die nicht mit blossem Auge zu sehen wären. Ein

Spinnewebfaden von $^1/_{476}$ mm Durchmesser in dem Rohre eines Mikroskops, dessen Gläser weggenommen waren, einem durch eine Argand'sche Lampe beleuchteten matten Glase so gegenüber gestellt, dass gar keine Reflexion *) an den Rändern des Fadens stattfand, wurde noch deutlich von Allen wahrgenommen. In dieser Dicke hat man also noch nicht die Grenze für die Fähigkeit, draht- oder haarförmige Körper mit blossem Auge wahrzunehmen **).

76 Der Gesichtswinkel ***) ist natürlich ein sehr kleiner, unter welchem solche kleine Objecte gesehen werden. Die früheren derartigen Beobachtungen von Jurin, Smith, Mayer findet man zusammengestellt bei Priestley (*History and present state of discoveries relating to vision, light and colours.* 1772, p. 678). In neuerer Zeit haben Treviranus (Beiträge z. Anat. u. Phys. der Sinneswerkzeuge S. 31), Valentin (Physiologie Bd. 2, S. 331), Harris (*Mackenzie's Physiology of Vision* p. 146) und besonders Hueck (Bewegung der Krystalllinse S. 14 und Müller's Archiv 1840. S. 82) Beobachtungen über die kleinsten Gesichtswinkel angestellt. Wenn dadurch keine übereinstimmenden Resultate erzielt worden sind, so liegt dies einestheils daran, dass jenes Werkzeug, welches zu den Beobachtungen benutzt werden muss, das Auge nämlich, so verschiedenartig ist, anderntheils auch daran, dass das Resultat durch Nebenumstände, namentlich durch die Art der Beleuchtung, mehr oder weniger erheblich abgeändert wird.

77 Es scheint mir deshalb nicht unpassend zu sein, wenn ich im Folgenden die Resultate einer Reihe eigener Untersuchungen über diesen

---

*) Sobald Reflexion stattfindet, wird der Faden in Folge der Irradiation viel sichtbarer. Jedermann weiss, wie leicht ein Spinnewebfaden im Sonnenlichte erkannt wird. Den erwähnten Faden, wenn er sich gerade in der Axe des Rohrs befand, konnte *A* noch bei 0,192 Meter Entfernung sehen. Kam er aber 7 mm seitlich von der Axe zu stehen, wo dann Reflexion an seiner Oberfläche stattfand, so konnte diese Entfernung auf 0,560 Meter vergrössert werden.

**) Jn meiner Schrift: *Recherches micrométriques sur le développement des tissus et des organes humains.* 1845, p. 2, gab ich an, ein Spinnewebfaden von $^1/_{700}$ mm Dicke sei noch sichtbar. Da ich damals nicht, wie jetzt, alle Sorgfalt verwendet hatte, um Reflexion und die hierdurch bewirkte Irradiation zu vermeiden, so ist oben nur die mit Ausschluss der Irradiation bewirkte Wahrnehmung angegeben. Indessen zweifle ich nicht daran, dass noch viel feinere Fäden sichtbar sind.

***) Die Grösse so kleiner Gesichtswinkel in Secunden, die hier allein in Betracht kommen, lässt sich, wenn die Entfernungen und die Grösse des Objects in Tausendtheilen des Millimeters ausgedrückt werden, auf sehr einfache Weise nach der Formel

$$Q = \frac{162000}{0{,}7853981} \cdot \frac{d}{a+b} \text{ oder } Log.\ q = 5{,}31443 + Log.\ \frac{d}{a+b}$$

berechnen, wo Q den Gesichtswinkel, a die Entfernung des Objects von der Hornhaut, d den Durchmesser des Objects und b die Entfernung des Kreuzungspunktes der Richtungsstrahlen von der Hornhaut bedeutet. Es gründet sich diese Formel, die ich meinem verstorbenen Freunde Wenckebach verdanke, auf die Annahme, dass bei sehr kleinen Bogen die Tangente und der Bogen beinahe gleich lang sind.

Punkt mittheile. Zu diesem Zwecke wurden zunächst die Grössen zweier Reihen von Körperchen bestimmt: die erste Reihe begreift lauter Körperchen von ziemlich kugelförmiger Gestalt, die zweite Reihe dagegen solche Objecte, bei denen die 25 bis 30mm betragende Länge ein entschiedenes Uebergewicht über die Breite hat. Wo nöthig, ist die Dicke dieser Körper mit vorwaltender Länge an drei verschiedenen Stellen angegeben worden.

a) Kugelförmige Objecte.

	Farbe.	Durchmesser in Tausendtheilen des Millimeters.		
		Grösster.	Kleinster.	Mittlerer.
1. Körnchen von Perlsago	Weiss	1540	1460	1500 = $1^1/_2$ mm
2. Pollenkörnchen von *Lavatera alba* . . .	Weiss	181	175	178 = $^1/_{5,7}$
3. " " *Mirabilis Jalappa* . .	Gelb	174	171	172,5 = $^1/_{5,8}$
4. " " " " . .	Gelb	161	161	161 = $^1/_{6,2}$
5. " " " " . .	Gelb	143	140	141,5 = $^1/_{7,1}$
6. " " *Lavatera alba* . . .	Weiss	143	140	141,5 = $^1/_{7,1}$
7. " " *Mirabilis Jalappa* . .	Gelb	141	132	136,5 = $^1/_{7,3}$
8. " " *Cucurbita Pepo* . . .	Gelb	134	130	132 = $^1/_{7,6}$
9. " " *Mirabilis Jalappa* . .	Gelb	118	117	117,5 = $^1/_{8,5}$
10. " " *Dipsacus pilosus* . .	Weiss	80	78	79 = $^1/_{12,6}$
11. " " *Canna indica* . . .	Gelblichweiss	61	60	60,5 = $^1/_{16,5}$
12. " " *Salvia bracteata* . .	Gelblichweiss	61	50	55,5 = $^1/_{18}$
13. " " *Phlox paniculata* . .	Weiss	48	45	46,5 = $^1/_{21,5}$
14. " " *Campanula rapunculoides*	Weiss	42	40	41 = $^1/_{24,4}$
15. " " *Dahlia Markii* . . .	Gelb	43	37	40 = $^1/_{25}$
16. Sporidie von *Lycopodium clavatum* . . .	Gelb	39	36	37,5 = $^1/_{27}$
17. Pollenkörnchen von *Erythrina crista galli*	Gelb	33	31	32 = $^1/_{31,3}$
18. " " *Delphinium hirsutum* .	Gelb	29	26	27,5 = $^1/_{36,4}$
19. " " *Antirrhinum majus* .	Weiss	35	16	25,5 = $^1/_{39,2}$
20. " " *Clematis cylindrica* .	Weiss	24	22	23 = $^1/_{43,5}$

b) Objecte, bei denen die Länge ein entschiedenes Uebergewicht über die Breite hat.

	Durchmesser in Tausendtheilen des Millimeters.			
	Ende.	Mitte.	Anderes Ende.	Mittel.
1. Messingdraht	—	—	—	279 = $^1/_{3,6}$ mm
2. Desgleichen	—	—	—	227 = $^1/_{4,4}$
3. Desgleichen	—	—	—	194 = $^1/_{5,1}$
4. Desgleichen	—	—	—	91 = $^1/_{10,8}$
5. Haar vom Löwen	87	83	82	84 = $^1/_{12}$
6. " " Leoparden	60	65	78	68 = $^1/_{15}$
7. " " Menschen	61	60	68	63,4 = $^1/_{16}$
8. " von der Katze	42	53	43	46,3 = $^1/_{22}$
9. " vom blauen Fuchse	33	42	36	37,0 = $^1/_{27}$
10. Faden vom Seidenwurme *)	—	—	—	25,3 = $^1/_{40}$
11. Haar vom blauen Fuchse	16	17	20	17,7 = $^1/_{59}$
12. " " Kaninchen	13	17	14	14,7 = $^1/_{68}$
13. " " *Mus laniger*	10	14	17	13,7 = $^1/_{73}$
14. Desgleichen	13	14	12	13 = $^1/_{77}$
15. Faden eines Schraubenmikrometers **)	—	—	—	9,5 = $^1/_{105}$
16. Spinnewebfaden ***)	—	—	—	2,1 = $^1/_{476}$

78 Mit diesen beiden Objectreihen wurden nun die Beobachtungen in folgender Art angestellt. Bei auffallendem Lichte wurden die Objecte auf einen schwarzen Grund gelegt. In den meisten Fällen jedoch wurde, wie aus den Tabellen ersichtlich ist, durchfallendes Licht benutzt. Zur Beleuchtung des Gesichtsfeldes wurde, die in den Tabellen angedeuteten Fälle ausgenommen, eine Argand'sche Lampe benutzt, deren Flamme so geregelt wurde, dass ihre Lichtstärke für jede Beobachtungsreihe die nämliche war. Die Flamme war durch ein matt geschliffenes Glas gedeckt, und in einiger Entfernung von diesem stand ein Diaphragma mit einer 3 Centimeter grossen Oeffnung vor der Mitte der Flamme. Die Nothwendigkeit eines solchen gleichförmigen Beleuchtungsgrades wird sich

*) Grösster Durchmesser 29 Mmm., kleinster Durchmesser 23 Mmm.

**) Grösster Durchmesser 10 Mmm., kleinster Durchmesser 8,8 Mmm.

***) Grösster Durchmesser 2,5 Mmm., kleinster Durchmesser 1,9 Mmm.

alsbald herausstellen. Das Object war zwischen zwei reine Glasblättchen eingeschlossen und befand sich auf einer passenden Unterlage in gleicher Höhe mit der Oeffnung des Diaphragma. Vor dem Objecte befand sich das horizontale Rohr eines Mikroskops, aus dem die Gläser herausgenommen waren, in der Weise, dass das Object in der verlängerten Axe des Rohrs gelegen war, welche Verlängerung zugleich durch die Mitte des Diaphragma und der Flamme ging. Der Beobachter hatte noch ein anderes Rohr vor dem Auge, welches stets auf das Object gerichtet blieb, und entfernte sich langsam von diesem, bis dass es ganz verschwand. Hierauf bewegte er sich wiederum vorwärts, bis er eine Spur des Objects wahrnahm, und nun wurde dessen Entfernung vom Auge gemessen. Aus dem bekannten Durchmesser des Objects und der gefundenen Entfernung wurde dann der Gesichtswinkel berechnet, indem noch 10^{mm} hinzugerechnet wurden für die Entfernung vom Kreuzungspunkte im Auge bis zur äusseren Oberfläche der Hornhaut.

Die erste Tabelle giebt die Beobachtungen über Sichtbarkeit der in der ersten Objectreihe verzeichneten runden oder kugelförmigen Körperchen. Die Entfernungen, in denen dieselben eben noch wahrgenommen werden, sind in Metern ausgedrückt, die Gesichtswinkel aber in Secunden. Beobachter sind die bereits früher (§. 67) angeführten Individuen *A*, *Ab*, *B*, *C*, *D* und *E*. Es hat aber *A* mit allen 20 Objecten ohne Ausnahme experimentirt, während die Versuche der übrigen sich nur auf einige von diesen 20 Objecten erstreckten. Deshalb werden die letztern gleichsam anhangsweise beigefügt.

Die zweite Tabelle enthält die Beobachtungen über Sichtbarkeit der in der zweiten Objectreihe verzeichneten Körper, die 100 bis 12000 mal so lang als breit sind. Die Beobachtungen sind beim durchfallenden Lichte einer Argand'schen Lampe angestellt, die sich in 1 Meter Entfernung von den Objecten befand. Die Entfernung des Auges ist hier ebenfalls in Metern und der Gesichtswinkel in Secunden ausgedrückt.

Erste Tabelle: *A* mit 0,162 Meter mittlerer Sehweite.

Objecte, §. 77. a.	Durchmesser in Mmm.	Auffallendes Licht. Starkes Sonnenlicht.	Auffallendes Licht. Flamme einer Argand'schen Lampe unter einem Winkel von 60°, bei einer Entfernung von: 0,07 Meter.	Auffallendes Licht. Flamme einer Argand'schen Lampe unter einem Winkel von 60°, bei einer Entfernung von: 0,28 Meter.	Durchfallendes Licht. Flamme einer Argand'schen Lampe hinter dem Objecte, und zwar in einer Entfernung von: 0,16 Meter.	1 Meter.	1 Meter.	3,6 Meter.	6 Meter.	6 Meter.	Durchfallendes Licht. Sonnenlicht, durch ein Blatt weisses Papier reflectirt.
		Entfernung des Auges.	Entfernung des Auges.	Entfernung des Auges.	Entfernung des Auges.	Entfernung des Auges.	Gesichtswinkel.	Entfernung des Auges.	Entfernung des Auges.	Gesichtswinkel.	Entfernung des Auges.
Nro. 1	1500	—	—	—	—	1,045	368,2″	—	—	—	—
» 2	178	0,540	0,417	0,313	0,375	0,396	90,4″	0,469	0,506	71,2″	0,404
» 3	172,5	0,555	—	—	0,375	0,428	81,3″	—	—	—	0,406
» 4	161	0,570	—	—	0,358	0,445	73,0″	—	—	—	0,402
» 5	141,5	0,635	0,398	0,304	0,355	0,435	65,7″	0,509	0,520	55,2″	0,395
» 6	141,5	0,630	—	—	0,369	0,404	70,5″	—	—	—	0,414
» 7	136,5	0,585	—	—	0,368	0,413	66,3″	—	—	—	0,397
» 8	132	0,545	—	—	0,346	0,409	65,1″	—	—	—	0,420
» 9	117,5	0,590	0,378	—	0,363	0,385	61,4″	0,422	0,439	54,0″	0,388
» 10	79	—	—	—	—	0,341	46,4″	—	0,387	41,1″	—
» 11	60,5	—	—	—	—	0,302	40,0″	—	—	—	—
» 12	55,5	—	—	—	—	0,262	42,1″	—	—	—	—
» 13	46,5	—	—	—	—	0,250	36,9″	—	0,278	33,3″	—
» 14	41	0,343	—	—	—	0,246	33,0″	—	—	—	0,212
» 15	40	0,365	—	—	—	0,253	31,4″	—	—	—	0,188
» 16	37,5	0,380	—	—	—	0,247	30,1″	—	0,259	28,8″	0,230
» 17	32	0,320	—	—	—	0,235	30,7″	—	—	—	0,183
» 18	27,5	0,270	—	—	—	0,193	28,0″	—	0,238	23,3″	0,170
» 19	25,5	0,366	—	—	—	0,167	29,7″	—	—	—	0,130
» 20	23	—	—	—	—	0,128	34,4″	—	0,160	27,9″	—
		a	*b*	*c*	*d*	*e*		*f*	*g*		*h*

Durchfallendes Licht einer Argand'schen Lampe bei 1 Meter Entfernung von den Objecten.

Objecte, §. 77 a.	Durchmesser in Mmm.	*Ab* mit 0,400 Meter mittlerer Sehweite.		*B* mit 0,372 Meter mittlerer Sehweite.		*C* mit 0,304 Meter mittlerer Sehweite.		*D* mit 0.273 Meter mittlerer Sehweite.		*E* mit 0,255 Meter mittlerer Sehweite.	
		Entfernung des Auges.	Gesichtswinkel.	Entfernung des Auges.	Gesichtswinkel.	Entfernung des Auges.	Gesichtswinkel.	Entfernung des Auges.	Gesichtswinkel.	Entfernung des Auges.	Gesichtswinkel.
Nro. 1	1500	3,195	96,8″	—	—	3,620	85,2″	3,562	86,7″	—	—
» 2	178	0,645	56,0″	0,822	44,2″	—	—	0,520	69,3″	0,575	63,0″
» 3	172,5	—	—	—	—	0,934	37,2″	—	—	0,548	63,8″
» 4	161	0,735	44,6″	1,112	29,7″	—	—	0,750	43,7″	—	—
» 6	141,5	—	—	—	—	—	—	—	—	0,360	78,9″
» 7	130,5	0,630	44,0″	0,762	36,5″	—	—	0,481	57,3″	0,380	72,2″
» 9	117,5	0,545	42,7″	—	—	—	—	0,420	43,8″	0,387	61,1″
» 10	79	0,452	35,3″	0,536	29,9″	0,570	28,2″	0,328	37,9″	0,285	55,3″
» 11	60,5	0,355	34,2″	—	—	—	—	0,248	48,4″	—	—
» 12	55,5	—	—	0,388	28,8″	0,470	24,0″	—	—	0,219	50,0″
» 13	46,5	0,211	43,4″	0,267	34,6″	0,245	37,6″	0,215	42,6″	0,170	53,3″
» 14	41	—	—	—	—	0,164	48,6″	—	—	—	—
» 15	40	—	—	0,212	57,2″	0,110	68,8″	—	—	—	—
» 16	37,5	—	—	—	—	0,093	75,2″	—	—	0,182	40,3″

Zweite Tabelle.

Objecte §. 77 b.	Durchmesser in Mmm.	*A* mit 0,162 Meter mittlerer Sehweite.		*Ab* mit 0,400 Meter mittlerer Sehweite.		*B* mit 0,372 Meter mittlerer Sehweite.		*C* mit 0,304 Meter mittlerer Sehweite.		*D* mit 0,273 Meter mittlerer Sehweite.		*E* mit 0,255 Meter mittlerer Sehweite.	
		Entfernung des Auges.	Gesichtswinkel.	Entfernung des Auges.	Gesichtswinkel.	Entfernung des Auges.	Gesichtswinkel.	Entfernung des Auges.	Gesichtswinkel.	Entfernung des Auges.	Gesichtswinkel.	Entfernung des Auges.	Gesichtswinkel.
Nr. 1	279	1,065	53,5″	3,735	15,5″	6,812	8,5″	5,450	10,5″	4,950	11,5″	—	—
» 2	227	0,976	47,5″	3,380	13,8″	6,104	7,5″	4,710	9,9″	4,404	10,6″	—	—
» 3	194	0,865	45,8″	3,065	13,1″	6,239	6,4″	4,555	8,8″	4,390	9,1″	—	—
» 4	91	0,680	27,2″	2,125	6,1″	4,604	4,1″	3,560	5,3″	2,980	6,3″	—	—
» 5	84	0,850	19,7″	2,110	8,2″	4,490	3,9″	—	—	1,880	9,4″	1,110	15,5″
» 6	68	0,690	20,0″	1,970	7,1″	3,740	4,3″	3,240	4,2″	1,760	8,0″	1,000	14,6″
» 7	63,4	0,780	16,5″	1,830	7,1″	2,993	4,6″	—	—	1,650	7,9″	1,155	12,0″
» 8	46,3	0,750	12,6″	1,900	5,0″	—	—	2,720	3,5″	1,705	5,6″	0,980	5,6″
» 9	37	0,745	10,1″	1,355	5,5″	2,629	2,8″	1,480	5,1″	1,548	5,0″	—	—
» 10	25,3	0,520	9,8″	1,110	5,7″	2,228	2,3″	1,890	2,8″	1,426	3,7″	—	—
» 11	17,7	0,462	7,8″	1,010	3,6″	0,997	3,6″	1,460	2,5″	1,148	3,2″	0,662	5,4″
» 12	14,7	0,445	6,7″	0,884	3,4″	0,668	4,3″	0,720	4,1″	0,964	3,2″	0,690	4,1″
» 13	13,7	0,503	5,5″	0,998	2,8″	0,316	8,6″	0,947	3,0″	1,020	2,7″	—	—
» 14	13	0,490	5,3″	0,905	2,9″	0,268	9,7″	1,055	2,6″	0,904	2,9″	0,648	4,0″
» 15	9,5	0,367	5,2″	0,521	3,7″	—	—	0,772	2,5″	—	—	—	—
» 16	2,1	0,192	2,1″	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Ungeachtet alle Sorgfalt darauf verwendet wurde, dass die Beobachtungen so genau als möglich ausfielen, war es doch nicht zu vermeiden, dass ein paar sich widersprechende Ergebnisse hervortreten. Der Leser wird bemerken, dass der nämliche Beobachter manchmal kleinere Objecte in einer grösseren Entfernung wahrgenommen hat, als andere etwas grössere Objecte, was natürlich nicht geschehen könnte, wenn die Umstände einander immer ganz gleich wären. Bedenkt man indessen, wie veränderlich der Zustand des Auges ist, und dass eine geringe Differenz in der mehr oder weniger genauen Wirkung des Accommodationsvermögens sogleich einen erheblichen Einfluss auf die Wahrnehmung haben muss, so können diese abweichenden Ergebnisse nicht gerade in Verwunderung versetzen. Auch thun sie in keiner Weise den allgemeinen Folgerungen Eintrag, die sich aus diesen Beobachtungen ziehen lassen. 79

Zuvörderst giebt sich der Einfluss der Beleuchtung zu erkennen. Bei auffallendem Sonnenlichte kann man einen Gegenstand in viel grösserer Entfernung sehen, als wenn er auf andere Weise beleuchtet ist. Offenbar rührt dies von der starken Irradiation auf die Netzhaut durch das reflectirte Licht her, was sich auch dadurch bestätigt, dass, wenn die Entfernung des Auges bei kleineren Gegenständen (Tab. I. Col. *a*. Nro. 14 bis 19) mit jener bei grösseren Gegenständen (ebendaselbst Nro. 1 bis 9) verglichen wird, die Abnahme verhältnissmässig nicht so bedeutend ist, wie bei einer anderen Beleuchtungsart (Tab. I. Col. *e* und *h*). Die Extension der irradiirten Netzhautoberfläche hängt nämlich nicht sowohl von der Lichtmenge, als vielmehr von dessen Intensität ab. 80

In dem Maasse als die Intensität des auffallenden Lichts abnimmt, mindert sich auch, wie es im Voraus zu erwarten war, die Entfernung für die Wahrnehmbarkeit (Tab. I. Col. *b* und *c*).

Gerade das Umgekehrte zeigt sich bei durchfallendem Lichte (Tab. I. Col. *d*, *e*, *f*, *g*). Innerhalb der Grenzen, worin die Beobachtungen angestellt wurden, nimmt die Entfernung für die Sichtbarkeit zu der Gesichtswinkel mithin ab in dem Maasse, als das Licht sich weiter entfernt und das Gesichtsfeld weniger erleuchtet ist. Dies lässt sich ebenfalls als eine Folge der Irradiation erklären, nur dass sie hier im umgekehrten Sinne wirksam ist. Wird nämlich ein nicht durchsichtiger Gegenstand auf einem erleuchteten Felde beobachtet, so entsteht gar kein wirkliches Bild des Gegenstandes auf der Netzhaut, weil ja von ihm keine Strahlen ausgehen, sondern die Wahrnehmung kommt dadurch zu Stande, dass die Netzhaut ringsum einen Lichteindruck bekommt und inmitten dieses Lichtbildes eine kleine nicht erleuchtete Stelle sich befindet. Auf dieser Stelle entsteht daher ein Schattenbildchen des Gegenstandes. Wie aber jedes andere Licht nach allen Seiten hin auf der Netzhaut seinen Eindruck fortpflanzt, so geschieht es auch mit dem das Schattenbildchen umgebenden Lichtkreise; durch dessen Ausbreitung nach innen nimmt die Dunkelheit des Schattenbildchens ab und es wird 81

deshalb nicht so deutlich gesehen, als es sonst der Fall sein würde. Je grösser die Intensität des auf die Netzhaut fallenden Lichtes ist, um so mehr verliert das Schattenbildchen an Deutlichkeit.

82 Eine Vergleichung der Ergebnisse beider Tafeln bestätigt entschieden die frühere Angabe, dass Objecte, die in der einen Richtung stark verlängert sind, weit leichter wahrgenommen werden, als solche, die in allen Richtungen den nämlichen Durchmesser haben. Wie weit diese durch die Form bedingte Verschiedenheit in der Sichtbarkeitsentfernung reicht, lässt sich aus den in den Tabellen verzeichneten Daten nicht mit Genauigkeit ermitteln. Dazu wären vergleichende Untersuchungen mit kugelförmigen und fadenförmigen Körpern von ganz gleichem Durchmesser erforderlich, und dies findet sich bei keinem der geprüften Objecte. Indessen kann man diesem Ziele nahe kommen, wenn die einander am nächsten stehenden Beobachtungen mit einander verglichen werden.

	Kugelförmige Objecte.			Fadenförmige Objecte.		
	Durchmesser in Mmm.	Entfernung.	Gesichtswinkel.	Durchmesser in Mmm.	Entfernung.	Gesichtswinkel.
A	178	0,396	90,4″	194	0,865	45,8″
	79	0,341	46,4″	84	0,850	19,7″
	46,5	0,250	36,9″	46,3	0,750	12,6″
	25,5	0,167	29,7″	25,8	0,520	9,8″
B	178	0,822	44,2″	194	6,239	6,4″
	79	0,762	36,5″	84	4.490	3,9″
	40	0,212	37,2″	37	2,629	2,8″
D	178	0,520	69,8″	194	4,390	9,1″
	79	0,328	37,9″	84	2,980	6,3″
	46,5	0,215	42,6″	46,3	1,705	5,6″

Aus dieser Zusammenstellung ersieht man, dass in dieser Beziehung bei verschiedenen Beobachtern eine nicht unerhebliche Verschiedenheit sich kund giebt. Der Myope *A* nimmt die fadenförmigen Objecte in einer zwei- bis dreimal grösseren Entfernung wahr als die kugelförmigen, der fernsehende *B* in einer acht- bis zwölfmal grösseren Entfernung, und der weniger fernsehende *D* in einer acht- bis neunmal grösseren Entfernung. Ausserdem lässt sich auch erkennen, dass im Allgemeinen die Ungleichheit in der Sichtbarkeitsentfernung in dem Maasse zunimmt, als der Durchmesser kleiner wird.

83 Der kleinste Gesichtswinkel, unter welchem Gegenstände noch gesehen werden können, ist nicht für alle Augen der nämliche; dies erhellt aus den Zahlen in den Tabellen. Der kleinste Winkel bei kugelförmigen Objecten und bei der gewöhnlichen Beleuchtung war 24″. Bei

schwächerer Beleuchtung des Gesichtsfeldes würde diese Zahl noch etwas kleiner ausfallen, da ein auf die nämliche Weise beleuchtetes Object, welches nur unter einem Winkel von 28″ gesehen werden konnte, unter einem Winkel von 23,3″ sichtbar wurde, nachdem die Lampe in eine sechsmal grössere Entfernung gekommen war. Einer der Beobachter konnte aber keine Objecte sehen, deren Gesichtswinkel kleiner als 40,3″ war. Man wird sich deshalb nicht sehr von der Wahrheit entfernen, wenn man annimmt, der kleinste Gesichtswinkel für kugelförmige Körper innerhalb der Grenzen des Accommodationsvermögens liege für verschiedene Augen zwischen 20″ und 40″, und sei im Mittel = 30″. Bei fadenförmigen Objecten liegen die Grenzen des Gesichtswinkels nach Tab. II. zwischen 2″ und 4″, und im Mittel ist er = 3″; demnach ist er zehnmal kleiner als bei runden Objecten.

Schon ein flüchtiger Blick auf die Tabellen belehrt, dass grös- 84
sere Objecte bereits unter einem grösseren Gesichtswinkel der Sichtbarkeit verlustig gehen. Es erklärt sich dies aus dem früher über die Grenzen des Accommodationsvermögens Mitgetheilten und es kann zugleich als Beweis für dessen Richtigkeit gelten. Wir sehen eine Zunahme des Gesichtswinkels, die parallel geht mit der Entfernung, in welcher die Objecte noch sichtbar sind, und es tritt diese Zunahme um so schneller ein, je schwächer das Accommodationsvermögen für grosse Entfernungen ist. Das Nämliche erkennt man aus den Tabellen Hueck's*) (Bewegung der Krystalllinse, S. 14—17), obschon derselbe für jene Fälle, wo er auf die oben angegebene Weise keinen Fernpunkt für das Accommodationsvermögen aufzufinden vermochte, annimmt, das Grösserwerden des Gesichtswinkels bei grösseren Entfernungen sei blos dem Umstande zuzuschreiben, dass die Atmosphäre nicht ganz durchsichtig war. Es versteht sich von selbst, dass bei kleineren Entfernungen von höchstens 6 Metern, wobei die oben verzeichneten Beobachtungen und auch viele Beobachtungen Hueck's angestellt worden sind, dieser Einfluss als nicht bestehend angenommen werden muss.

Bei manchen Augen geht aber das Accommodationsvermögen so 85
weit, dass der Brennpunkt der parallelen Strahlen gerade auf die Netzhaut fällt. Ein solches Auge würde, unter sonst gleichen Umständen, unendlich weit entfernte Gegenstände unter einem gleichen Winkel sehen können, wie alle anderen, die sich noch vor seinem Nähepunkte befinden. Es ist bekannt genug, wie grosse Verschiedenheiten in Betreff der Fähigkeit vorkommen, sehr weit entfernte Gegenstände wahrzunehmen. Jedermann weiss, wie ein Gegenstand, der sich am Rande des Horizonts

*) Hueck hat alle seine Beobachtungen bei auffallendem Lichte angestellt. Wie trügerisch diese Beleuchtungsweise ist, habe ich bereits oben angegeben. Deshalb ist es wahrscheinlich, dass die von ihm wahrgenommene Differenz geringer war bei weissen Streifen auf schwarzem Grunde, als bei schwarzen Streifen auf weissem Grunde.

zeigt, von Seeleuten bereits als ein Schiff erkannt wird, während er solchen, deren Augen im Betrachten ferner Gegenstände weniger geübt sind, kaum als ein sichtbarer Punkt erscheint. Ich will hier ein paar Beispiele anführen, welche darthun, dass das Sehen in sehr grosser Entfernung auch noch unter einem sehr kleinen Gesichtswinkel möglich ist, sofern die Umstände günstig sind.

In den »Ansichten der Natur« erzählt v. Humboldt von einem Luftballon, der 4 Klafter oder 7,53 Meter Durchmesser hatte, und den man in Berlin in einer Entfernung von 6700 Klafter oder 12605 Meter niederfallen sah, und fügt hinzu, dass man ihn in einer noch grösseren Entfernung hätte sehen können. Für die genannte Entfernung ergab sich ein Gesichtswinkel von 124″. In unserer dunsterfüllten Atmosphäre sind die Gegenstände natürlich nicht in solcher Entfernung sichtbar, wie dort, wo die Atmosphäre sehr durchsichtig ist. In der Provinz Quito konnte von Humboldt den Poncho oder den weissen Mantel eines Reiters in einer Entfernung von 14022 Klafter oder 26381 Meter (etwa $5^1/_2$ Wegstunden) noch mit blossem Auge sehen. Der Gesichtswinkel war hier 13″, also etwa halb so viel als der kleinste Winkel, unter welchem nach den obigen Tabellen Gegenstände, die eben so lang als breit sind, in einer geringen Entfernung erkannt werden können, was auf die Vermuthung führt, dass die starke Reflexion der Sonnenstrahlen durch die weisse Farbe des Objects hier von bedeutendem Einflusse gewesen ist.

In Darwin's »Reise um die Welt«, übersetzt von Dieffenbach, Th. 2, S. 6, ist eine Beobachtung verzeichnet, wo lange Gegenstände in einer sehr grossen Entfernung noch sichtbar waren. Beim Ersteigen des 6400 Fuss hohen Campana oder Glockenbergs in Chili konnte er die Maste der Schiffe, die in Valparaiso, in einer Entfernung von 26 geographischen Meilen vor Anker lagen, noch als dünne schwarze Streifen unterscheiden. Rechnet man den Durchmesser dieser Maste zu 1 Meter, so war der Gesichtswinkel bei dieser Entfernung nur 2,1″ gross, er kam also dem kleinsten Gesichtswinkel gleich, unter welchem solche Objecte nach unserer Tab. II. auch bei kleiner Entfernung sichtbar sind. Es ist aber diese Beobachtung dadurch von noch grösserem Gewichte, weil sie Gegenstände betraf, die in der Luft, also auf einem erleuchteten Hintergrunde, befindlich waren, so dass hier also kein durch Irradiation bedingter Irrthum zu besorgen stand.

Dürfte man das Sichtbarsein sehr stark erhellter Objecte als den Maassstab für den Gesichtswinkel benutzen, so würde man anzunehmen haben, dass dieser Gesichtswinkel bei kugelförmigen Körpern auch noch viel kleiner sein kann. Nach Mädler (Populäre Astronomie S. 273) sollen die Otahaitier den Uranus, der einen scheinbaren Durchmesser von 3,9″ hat, schon lange vor Herschel gekannt haben, und nach Musschenbroek (*Introd. ad phil. naturae.* 2, *p.* 773) sollen die Jupitersmonde, deren grösster einen scheinbaren Durchmesser von 1,5″ hat, von Manchen mit blossen Augen gesehen worden sein. Auch erzählt von Humboldt

(Kosmos Bd. 3, S. 113), dass er einen Schneider in Breslau kannte, der die Jupitersmonde bei sehr heiterem Himmel deutlich sah. In einem Briefe an Sir John F. W. Herschel (*American Journal of Sc. and Arts*, 1855. *March*, *p.* 273) berichtet ein amerikanischer Missionär, D. T. Stoddard, der zu Orumieh in Persien sich aufhält, dass er in diesem so günstigen Klima nicht allein die Jupitersmonde mit blossem Auge zu sehen vermag, sondern selbst den Ring des Saturn und die Lichtphasen der Venus erkennen kann. Auch einige Doppelsterne, z. B. 4 und 5 ε Lyrae, α Librae, δ Cephei (diesen jedoch nur zweifelhaft) vermochte er ohne Teleskop als solche zu unterscheiden. Sind diese Angaben auch richtig, so kommen derartige Beobachtungen hier doch nicht in Betracht, weil das Bild aller sehr erhellter Körper in Folge der Irradiation auf der Netzhaut sich viel grösser darstellt, als es wirklich ist, so dass ein Fixstern, dessen scheinbarer Durchmesser unendlich klein ist, doch noch ein Bildchen hervorbringt.

Kehren wir nun wieder zu den in den Tabellen verzeichneten 86
Beobachtungen zurück, so ist es in die Augen fallend, dass, gleichwie der Gesichtswinkel, unter welchem Objecte noch sichtbar sind, nach Maassgabe der zunehmenden Entfernung grösser wird, so auch bei manchen Beobachtern der Gesichtswinkel, nachdem das Minimum erreicht worden ist, wiederum grösser wird beim Betrachten kleinerer Objecte. Dies steht mit einer anderen Wahrnehmung im Zusammenhange, dass nämlich ein Myope (*A*) sehr kleine Objecte (Tab. I. Nr. 13 u. 14. Tab. II. Nr. 13 bis 16) noch in einer grösseren Entfernung zu sehen im Stande ist, als andere (*B*, *C*, *D*), die nicht myopisch sind. Diese auf den ersten Blick einander widersprechenden Thatsachen lassen sich meines Erachtens so erklären, dass das Accommodationsvermögen nicht eigentlich dahin wirkt, das Auge in einen Zustand zu versetzen, wobei das Bild genau und scharf auf die Netzhaut fällt, sondern nur jenen Zustand herbeiführt, wobei das Object am besten wahrgenommen wird. Es kann also ein Object so klein sein, dass ein vollkommen scharfes Bild desselben keinen Eindruck auf die Netzhaut zu machen vermag, und wenn man es dem Auge soweit nähert, dass sein eigentliches Bildchen etwas hinter die Netzhaut kommt, kann die letztere durch ein Bündel convergirender Strahlen, dessen Durchschnitt das Bildchen an Grösse übertrifft, dergestalt getroffen werden, dass noch ein Eindruck dadurch zu Stande kommt. So kann also ein Object doch noch gesehen werden, dessen scharfes Netzhautbildchen wegen seiner Kleinheit nicht mehr wahrnehmbar ist.

Es erklärt sich hieraus auch noch eine andere Erscheinung, 87
die ein jeder bei solchen Beobachtungen an sich selbst wahrnehmen kann. Ist nämlich der Blick auf einen Gegenstand gerichtet, der klein genug ist, dass seine Sichtbarkeitsdistanz noch innerhalb der Grenzen des Accommodationsvermögens liegt, und entfernt man sich langsam weiter von diesem Gegenstande, dann verschwindet derselbe nicht auf einmal aus dem Gesichte, sondern vor dem Verschwinden wird er erst breiter und

nebelartig, d. h. er erzeugt ein Diffusionsbild auf der Netzhaut. Da dies nun schon in einer Entfernung geschieht, bei welcher sich noch ein vollkommen scharfes Bild grösserer Gegenstände auf der Netzhaut bilden kann, so sieht man hieraus wiederum deutlich, dass das Auge den empfangenen Eindruck gleichsam festzuhalten sucht, indem es den Vereinigungspunkt der Strahlen etwas verrückt, und dass die grössere Extension des alsdann entstehenden Diffusionsbildes doch noch einen Eindruck ermöglicht, obwohl in der Empfänglichkeit der Netzhaut für das vollkommen scharfe aber kleinere Bildchen bereits die äusserste Grenze erreicht wurde. Durch diese Wahrnehmungen lernen wir eine beachtenswerthe Eigenthümlichkeit in der Benutzung des blossen Auges zum Sehen kennen, für die wir weiterhin in der mikroskopischen Wahrnehmung eine Bestätigung finden werden.

88 Angenommen, das Bildchen liegt in dem Augenblicke, wo der Gesichtswinkel am kleinsten ist, genau auf der Netzhaut, so wird man aus der bekannten Grösse des Objects, aus dessen Entfernung vom Kreuzungspunkte der Richtungsstrahlen und aus des letzteren Entfernung von der Netzhaut leicht die Grösse des kleinsten noch sichtbaren Netzhautbildchens berechnen können, und zwar durch ein einfaches Regeldetriexempel, wie man aus Fig. 45 (S. 54) ersieht. Der Durchmesser des Netzhautbildchens nämlich ist $= \frac{de}{a+b}$, wo a die Entfernung des Auges vom Objecte, b die Entfernung vom Kreuzungspunkte bis zur Hornhaut, e jene vom Kreuzungspunkte bis zur Netzhaut und d den Durchmesser des Objects bezeichnet. Solche Berechnungen haben Hueck (Müller's Archiv 1840, S. 86), Valentin (Lehrb. d. Phys. Bd. 2, S. 427), Volkmann (Neue Beiträge zur Phys. des Gesichtssinnes, S. 202 u. Wagner's Handwörterbuch, Art. Sehen, S. 333—335) und Andere ausgeführt, und durch Vergleichung des gefundenen Durchmessers mit den die Netzhaut zusammensetzenden Elementen stellte sich heraus, dass die kleinsten wahrnehmbaren Netzhautbildchen viel kleiner sein können, als diese Netzhautelemente.

Aus einigen Daten in den Tabellen sind folgende Durchmesser der entsprechenden Netzhautbildchen nach dieser Methode berechnet, wobei der Abstand des Kreuzungspunktes von der Netzhaut im Mittel zu 14 Millimeter angenommen worden ist.

	Durchmesser des Objects in Mmm.	Durchmesser des Netzhautbildchens in Mmm.
Tabelle I. *A.* Nr. 18 *g*	27,5	1,58 = $^1/_{635}$ mm
„ I. *A.* „ 18 *e*	27,5	1,89 = $^1/_{530}$
„ I. *B.* „ 10	79	2,03 = $^1/_{490}$
„ I. *B.* „ 15	40	2,64 = $^1/_{380}$
„ I. *C.* „ 12	55,5	1,62 = $^1/_{620}$
„ I. *C.* „ 13	46,5	2,59 = $^1/_{390}$
„ I. *C.* „ 14	41	3,30 = $^1/_{300}$
„ I. *C.* „ 15	40	4,67 = $^1/_{214}$
„ I. *C.* „ 16	37,5	5,00 = $^1/_{200}$
„ II. *A.* „ 16	2,1	0,15 = $^1/_{6666}$
„ II. *Ab.* „ 13	13,7	0,21 = $^1/_{4800}$
„ II. *B.* „ 10	25,3	0,16 = $^1/_{6250}$
„ II. *B.* „ 13	13,7	0,59 = $^1/_{1530}$
„ II. *B.* „ 14	13,0	0,66 = $^1/_{1500}$

Aus dem früher Mitgetheilten ergiebt sich aber, dass dergleichen Berechnungen niemals genau sein können: denn erstens ist der Abstand des Kreuzungspunktes nicht für alle Augen der nämliche und derselbe unterliegt ausserdem durch die Wirkung des Accommodationsvermögens nothwendigerweise einer Stellverrückung, und zweitens muss die Annahme, dass das Bildchen sich genau auf der Netzhaut befand, nach den vorgängigen Bemerkungen in allen jenen Fällen, wo die Rechnung vorgenommen wurde, als eine unrichtige angesehen werden.

Auch würde ich es für überflüssig erachtet haben, diese Ergebnisse hier aufzuzeichnen, wenn nicht gerade aus deren Vergleichung unter einander ersichtlich wäre, dass die Basis, worauf die Berechnung beruht, unmöglich eine genaue sein kann. Bei *B* und *C* wird man nämlich bemerken, dass nicht die kleinsten sogenannten Netzhautbildchen eine etwa gleiche Grösse haben, vielmehr gerade die allerkleinsten Objecte (Tab. I. Nr. 13, 14. Tab. II. Nr. 13 bis 16) immer grössere und grössere Bildchen erzeugt haben. Dies erklärt sich nun sehr einfach aus dem bereits Angeführten, dass die Stelle des wahren Bildchens solcher sehr kleinen Objecte sich eigentlich hinter der Netzhaut befindet. Der gefundene Durchmesser ist also nicht jener des Bildes, sondern des durch das convergirende Strahlenbündel getroffenen Netzhautabschnitts, und das sind wirklich die alleinigen Fälle, wo man die Grösse des den Eindruck aufnehmenden Netzhauttheils mit Sicherheit berechnen kann, vor-

ausgesetzt nämlich, dass man die Stelle des Kreuzungspunktes genau kennt.

Nimmt man dies an, so ergiebt sich, dass der Durchmesser jenes Netzhauttheils, welcher den Eindruck aufnimmt, vom Durchmesser der Elementartheile der Netzhaut nicht so sehr abweicht, als Viele glauben. Die Nervenfasern der Netzhaut sind $^1/_{1000}$ bis $^1/_{500}{}^{mm}$ dick, und die stabförmigen Körper der dahinter liegenden Schicht, die wahrscheinlich mit den Nervenfasern zusammenhängen, sind noch etwas dicker.

89 Aber auch angenommen, dass jener Netzhauttheil, welcher den Eindruck empfängt und fortleitet, kleiner sein kann, als der Durchmesser seiner Nervenfasern, so liegt etwas Unwahrscheinliches darin, dass eine einzelne Faser, welche zwei oder mehr verschiedene Eindrücke empfängt, dieselben auch isolirt zum Bewusstsein sollte bringen können. Dies führt uns auf die Frage nach den Grenzen des Unterscheidungsvermögens des Auges.

Offenbar müssen diese Grenzen von jenen des eigentlichen Sichtbarseins verschieden sein. Denn wenn ein einzelnes Object ein Diffusionsbildchen erzeugt, so wird dieses Object noch wahrnehmbar sein können, wenn jenes Bildchen auch ziemlich breit geworden ist; befinden sich dagegen zwei solche Diffusionsbildchen auf der Netzhaut, so fliessen diese schnell zusammen, und man glaubt nur ein einzelnes Object zu sehen.

Deshalb machte es sich nöthig, auch hier die für verschiedene Augen bestehenden Grenzen aufzusuchen, und dies ist in zwei Beobachtungsreihen geschehen, die in der nachstehenden dritten Tabelle verzeichnet sind. Zur ersten Reihe dienten verschiedene Sorten eines Messingdrahtgeflechtes, das ganz matt, ohne den mindesten Glanz war. Auch bei diesen Versuchen wurde dem durchfallenden Lichte einer Argand'schen Lampe der Vorzug gegeben, und im Ganzen wurde auf dieselbe Weise verfahren, wie es weiter oben (§. 78) für die Bestimmung der Sichtbarkeitsentfernung angegeben worden ist.

Dritte Tabelle.

Unterscheidbarkeit der Gesichtseindrücke.

a. Grenzen der Wahrnehmbarkeit der Maschen eines Messingdrahtgeflechts.

	Nro. 1. Auf 1 □Centimeter 67,2 Maschen; Durchmesser der Maschen 917 Mmm.; Dicke des Drahts 279 Mmm.			Nro. 2. Auf 1 □Centimeter 190,4 Maschen; Durchmesser der Maschen 489 Mmm.; Dicke des Drahts 227 Mmm.			Nro. 3. Auf 1 □Centimeter 338,6 Maschen; Durchmesser der Maschen 255 Mmm.; Dicke des Drahts 194 Mmm.			Nro. 4. Auf 1 □Centimeter 1022,3 Maschen; Durchmesser der Maschen 250 Mmm.*); Dicke des Drahts 91 Mmm.**).		
	Entfernung des Auges.	Gesichtswinkel der Maschen.	Gesichtswinkel des Drahts.	Entfernung des Auges.	Gesichtswinkel der Maschen.	Gesichtswinkel des Drahts.	Entfernung des Auges.	Gesichtswinkel der Maschen.	Gesichtswinkel des Drahts.	Entfernung des Auges.	Gesichtswinkel der Maschen.	Gesichtswinkel des Drahts.
A mit 0,162 Meter mittlerer Sehweite . . .	1,065	177,5″	54,0″	0,922	108,2″	50,3″	0.664	78,1″	59,4″	0,466	108,0″	39,5″
Ab mit 0,400 Meter mittlerer Sehweite . . .	2,275	82,8″	25,2″	2,087	48,1″	22,3″	1,340	38,9″	29,7″	0,935	54,5″	19,9″
B mit 0,372 Meter mittlerer Sehweite . . .	2,536	74,6″	22,6″	2,334	43.3″	20,0″	1,589	32.9″	25,1″	1,100	42,9″	16,9″
C mit 0.304 Meter mittlerer Sehweite . . .	2,995	63,0″	19,2″	2,372	42,4″	19,7″	1,840	28,5″	21,1″	1,742	29,5″	10,7″
D mit 0,273 Meter mittlerer Sehweite . . .	1,835	102.9″	31,2″	1,695	59,4″	27,6″	1,235	42,3″	32.2″	0,698	72,7″	26,5″

*) Die Maschen hatten hier in der einen Richtung 240 Mmm., in der anderen 260 Mmm. Die Maschen der übrigen Drahtgeflechte waren genau quadratisch.

**) Ueber die Grenzen der Sichtbarkeit der vier Drahtsorten siehe oben Tabelle II, Nro. 1 bis 4.

b. Grenzen der Unterscheidbarkeit zweier Mikrometerfäden *).

Nro.	Entfernung des Auges von den Fäden in Metern.	A		Ab		B		C		D		Allgemeine Grösse des Gesichtswinkels jedes Fadens.
		Entfernung beider Fäden in Mmm.	Gesichtswinkel.	Entfernung beider Fäden in Mmm.	Gesichtswinkel.	Entfernung beider Fäden in Mmm.	Gesichtswinkel.	Entfernung beider Fäden in Mmm.	Gesichtswinkel.	Entfernung beider Fäden in Mmm.	Gesichtswinkel.	
1.	0,080	85	195″	—	—	—	—	—	—	—	—	21,8″
2.	0,100	52	98″	—	—	—	—	—	—	—	—	17,8″
3.	0,160	54	70″	—	—	—	—	—	—	—	—	11,6″
4.	0,200	87	86″	146	143″	74	72″	133	131″	—	—	9,4″
5	0,250	147	115″	183	145″	87	69″	159	126″	—	—	7,5″
6.	0,300	—	—	—	—	—	—	—	—	158	105″	6,4″
7.	0,350	252	144″	211	122″	—	—	251	143″	—	—	5,4″
8.	0,400	—	—	—	—	133	67″	—	—	—	—	4,7″
9.	0,450	—	—	404	181″	—	—	267	120″	—	—	4,2″
10.	0,500	—	—	—	—	187	76″	331	134″	—	—	3,8″
11.	0,600	—	—	—	—	—	—	396	134″	—	—	3,2″

*) Ueber die Grenzen der Sichtbarkeit des einzelnen Fadens siehe oben Tabelle II, Nro. 15.

Vergleicht man die Nummern dieser Tabelle unter einander so wie mit Tab. II, Nr. 1 bis 4, wo die Sichtbarkeitsentfernungen der einzeln gesehenen Drähte des Geflechts verzeichnet sind, so stellt sich Folgendes heraus.

Zuvörderst ist in beiden Fällen die Verschiedenheit der Sichtbarkeitsentfernungen so wie der davon abhängenden Gesichtswinkel bei den meisten Beobachtern sehr ansehnlich, doch nicht bei allen gleich gross. Bei *A* war diese Verschiedenheit wenig hervortretend, während dagegen *B* die isolirten Drähte noch in einer dreimal grösseren Entfernung sah, als die Maschen des daraus verfertigten Geflechts. Die Fähigkeit, das Einzelne wahrzunehmen, geht also durchaus nicht gleichen Schritt mit der Unterscheidbarkeit der Gesichtseindrücke.

Sodann ersieht man, dass die Unterscheidbarkeit der Maschen eben so sehr von der Dicke der begrenzenden Drähte abhängig ist, als von der Grösse der Interstitien. In Tab. III. a. unterscheiden sich die Drähte bei Nr. 1 und Nr. 2 nur wenig in der Dicke, das Interstitium aber ist bei Nr. 2 fast nur halb so gross als bei Nr. 1; dennoch ist die Unterscheidbarkeitsdistanz ziemlich die nämliche für beiderlei Geflechte. Umgekehrt verhält es sich bei Nr. 3 und Nr. 4: die Interstitien unterscheiden sich kaum von einander, der Draht von Nr. 3 ist aber doppelt so dick als jener von Nr. 4, und die Unterscheidbarkeitsdistanz von Nr. 4 ist eine viel kleinere.

Diese Beispiele thun auf eine überzeugende Weise dar, dass auf die Unterscheidbarkeit verschiedener Gesichtseindrücke zwei Umstände von Einfluss sind, nämlich der interstitielle Zwischenraum der Objecte und die Grösse der letzteren; es hängt davon die Grösse des Netzhautbildchens ab. Zur Verdeutlichung lasse ich hier die berechneten Netzhautbildchen folgen, die in diesem Falle nicht so sehr von der wahren Grösse abweichen können, als wenn sie aus der Sichtbarkeitsdistanz berechnet werden, weil die Diffusion hier natürlich einen weit geringeren Einfluss übt. Die Netzhautbilder der Drähte und ihrer Interstitien sind in Tausendtheilen des Millimeters berechnet.

Nro.	*A*		*Ab*		*B*		*C*		*D*	
	Draht.	Interstitium.	Draht.	Interstitium.	Draht.	Interstitium.	Draht.	Interstitium.	Draht.	Interstitium.
1	3,72	12,50	1,78	5,68	1,54	5,05	1,30	4,35	2,12	6,96
2	3,42	7,36	1,54	3,28	1,36	2,93	1,34	2,88	1,90	4,10
3	4,06	5,31	2,02	2,68	1,71	2,25	1,48	1,95	2,19	2,90
4	2,71	7,45	1,25	3,72	1,15	3,15	0,73	2,00	1,82	5,00

Bei Nr. 1 und 2 sind die Netzhautbildchen der Drähte einander immer ziemlich gleich, während die Interstitien bei Nr. 2 fast nur halb so gross sind wie bei Nr. 1. Hier bestimmt also die Grösse der verschiedenen Eindrücke selbst deren Unterscheidbarkeit, ihre verschiedenen Interstitien auf der Netzhaut dagegen üben nur einen verhältnissmässig geringen Einfluss darauf aus.

Dagegen übt bei Nr. 3 und 4 jener Eindruck auf die Netzhaut, welcher von der Verschiedenheit der Interstitien ausgeht, einen überwiegenden Einfluss aus. Sind die Bildchen von den Drähten grösser, dann ist auch das Interstitium kleiner, und umgekehrt.

Zugleich ist auch aus diesen Daten zu entnehmen, dass das Interstitium auf der Netzhaut, welches nöthig ist, wenn zwei Eindrücke gesondert wahrgenommen werden sollen, den Elementartheilen der Netzhaut an Grösse nicht nachsteht. Das kleinste Interstitium, welches hier vorkommt, ist 1,95 Mmm. oder ${}^{1}/_{513}{}^{\mathrm{mm}}$, was ungefähr dem Durchmesser der dicksten Netzhautfasern entspricht.

90 Durch den gegenseitigen Einfluss, den die Dicke der Objecte und deren verschiedene Interstitien auf die Unterscheidbarkeit der Gesichtseindrücke ausüben, wird die Frage nach den Grenzen dieser Unterscheidbarkeit viel zusammengesetzter, als sie sein würde, wenn es allein auf den interstitiellen Zwischenraum ankäme. Aus diesem Grunde haben auch die Ergebnisse einer anderen Reihe von Beobachtungen, von denen ich zuerst erwartete, dass sie in Betreff der Unterscheidbarkeit einen festen Anhaltspunkt abgeben würden, diesem Zwecke nicht entsprechen können. Es wurden nämlich diese Beobachtungen mittelst eines sehr genauen Ocularschraubenmikrometers ausgeführt, worin sich zwei ganz parallele Fäden von ${}^{1}/_{105}{}^{\mathrm{mm}}$ Dicke befinden, der eine ganz feststehend, der andere durch eine Schraube hin und her zu bewegen. Das Zeigerblatt der Schraube ist in Grade eingetheilt, deren jeder ${}^{1}/_{229}{}^{\mathrm{mm}}$ entspricht. Wurde dieser Apparat an ein Rohr befestigt, das sich verlängern liess, so konnte mit grosser Genauigkeit das Interstitium abgemessen werden, welches nöthig war, wenn die Fäden noch doppelt gesehen werden sollten. Die verschiedenen Beobachtungen differirten selten mehr als um 1 oder 2 Grade, und da immer 3 bis 5 Beobachtungen angestellt wurden, so sind die erhaltenen Mittelwerthe als sehr genaue anzusehen. In Tab. III. b. (S. 72) habe ich die erhaltenen Resultate zusammengestellt. Die Sichtbarkeitsdistanz des einzelnen Fadens ist in Tab. II, Nr. 15 angegeben.

Dass die Fähigkeit der Unterscheidung in unmittelbarem Zusammenhange mit den beiden Grenzen des Accommodationsvermögens steht, ersieht man sogleich aus der Tabelle, namentlich bei *A*, dessen Accommodationsvermögen in die engsten Grenzen eingeschlossen ist. Ueberdies ist auch das Interstitium, welches die Fäden für die verschiedenen Beobachter bei gleicher Entfernung der Augen haben mussten, wenn sie doppelt gesehen wurden, nicht das nämliche, wenn auch diese Entfernung,

wie bei Nr. 47, noch ganz innerhalb der Grenzen des Accommodationsvermögens aller Beobachter liegt. Diese Verschiedenheit kann natürlich von mancherlei Umständen im individuellen Zustande des einzelnen Auges herrühren. Dass man aber dabei nicht blos an eine verschiedenartige Empfänglichkeit der Netzhaut für die Unterscheidung von Eindrücken zu denken hat, ergiebt sich wohl deutlich aus einer Vergleichung der von *A* und von *Ab* erlangten Resultate.

Vergleicht man ferner die Resultate dieser Versuche mit den früheren, so bestätigt sich wiederum die Wahrheit des schon ausgesprochenen Satzes, dass die Unterscheidbarkeit zweier Eindrücke nicht blos von deren Interstitium, sondern auch von der Ausbreitung der Eindrücke selbst abhängig ist. Bei *C* z. B. mussten bei 0,350 Meter Augenentfernung die Fäden 251 Mmm. von einander entfernt sein, damit sie unterschieden werden konnten. Bei einem Messingdrahtgeflechte, dessen Maschen 250 Mmm. gross waren, dessen Drähte aber eine zehnmal grössere Dicke hatten als die Mikrometerfäden, konnte er das Auge bis auf 1,742 Meter, d. h. also fünfmal weiter entfernen, bevor die Grenzen der Unterscheidbarkeit erreicht waren.

Hieraus ist nun aber schon zu entnehmen, dass es nicht möglich ist, aus diesen Beobachtungen auf die genauen Grenzen der Unterscheidbarkeit einen Schluss zu ziehen. Das kleinste Interstitium der Fäden, wobei dieselben von *A* noch doppelt wahrgenommen werden konnten, war 52 Mmm. oder $^1/_{19}{}^{mm}$, und dies entspricht einem Interstitium von 4,44 Mmm. oder $^1/_{225}{}^{mm}$ zwischen den Bildern der Fäden auf der Netzhaut. Für *B* betrug dieses Interstitium 74 Mmm. oder $^1/_{13.5}{}^{mm}$, und im Netzhautbildchen 4,54 Mmm. oder $^1/_{220}{}^{mm}$. In allen anderen Fällen war der Zwischenraum der Fäden sowohl als jener der Netzhautbildchen ein grösserer. Weiter oben haben wir aber gesehen, dass die kleinsten Interstitien der Netzhautbilder von einem Messingdrahtgeflechte um mehr als die Hälfte kleiner sind. Man darf deshalb mit Sicherheit annehmen, wenn statt der sehr dünnen Mikrometerfäden Messingdraht oder ein anderer Draht von etwas grösserem Durchmesser angewendet werden könnte, was jedoch in einem solchen Apparate nicht ausführbar ist, weil dickere Fäden zu sehr in verschiedene Flächen sich erstreckten, so würde man finden, dass die Grenze für die Unterscheidbarkeit höchstens auf die Hälfte der gefundenen Entfernung veranschlagt werden muss. Es würde dann z. B. *A* noch ein Interstitium von $^1/_{40}{}^{mm}$, *B* von $^1/_{27}{}^{mm}$ zwischen zwei Objecten wahrnehmen können, und es ist nicht unwahrscheinlich, dass die Fähigkeit der Unterscheidbarkeit unter günstigen Umständen noch viel weiter geht. Denn wenn die beiden Objecte eine ansehnlichere Dicke haben, dann nimmt das Interstitium mehr und mehr den Charakter einer Spalte an, die sich bei durchfallendem Lichte wie ein weisser Streifen auf einem schwarzen Grunde ausnimmt, und ein solcher Streifen kann wenigstens eben so dünn sein, als ein schwarzer Streifen auf weissem Grunde, ehe er unsichtbar wird, was

aus den mehrmals erwähnten Beobachtungen Hueck's mit Sicherheit sich herausstellt.

Aus allem nun folgt, dass für die Unterscheidbarkeit von Objecten sich nicht in gleicher Weise, wie für deren Sichtbarkeit, bestimmte Grenzen angeben lassen, sondern dass diese Grenzen je nach der Art und nach der Grösse der Objecte, wodurch die Gesichtseindrücke hervorgebracht werden, veränderlich sind.

91 Wenn auch durch die mitgetheilten Versuche die Frage über den kleinsten Gesichtswinkel, unter welchem verschiedene Objecte noch wahrnehmbar sind, genügend beantwortet zu sein scheint, so war es doch wünschenswerth, auch durch directe Beobachtungen feststellen zu können, welche kleinste Gegenstände, Interstitien u. s. w. das Auge noch zu unterscheiden vermag, wenn es sich in einer bestimmten Entfernung davon befindet. Nur so wäre es möglich, das optische Vermögen des Auges mit jenem des Mikroskops zu vergleichen. Da nun wirkliche Objecte sich nicht so allmälig und stufenweise verkleinern lassen, bis sie zuletzt ganz unsichtbar werden, so entschloss ich mich, ein anderes Verfahren einzuschlagen, das, wie sich später zeigen wird, auch noch den Vortheil bietet, dass es ganz auf das Mikroskop angewendet werden kann.

Dieses Verfahren besteht darin, dass man statt der Objecte selbst nur deren dioptrische Bilder benutzt. Um solche für den vorliegenden Zweck zu erzeugen, habe ich aplanatische Linsensysteme benutzt; wo aber deren Brennweite noch zu gross war, als dass das kleinste sichtbare Bild hätte entstehen können, ohne das Object zu weit zu entfernen, da benutzte ich ganz kleine Glaskügelchen von $\frac{1}{2}$ bis $\frac{1}{10}^{mm}$ Durchmesser, die in Platinblech eingeschmolzen und nach Art einer gewöhnlichen Linse in ein Messingröhrchen gefasst waren. Ich füge nur noch hinzu, dass die benutzten Glaskügelchen, die als Vergrösserungsgläser in einem einfachen Mikroskope dienten, ein ganz vorzüglich nettes Bild geben, welches jenem Bilde kaum nachsteht, das durch ein aplanatisches zusammengesetztes Mikroskop von gleicher Vergrösserung hervorgebracht wird.

Das Linsensystem oder das Glaskügelchen kam in die Oeffnung des Objecttisches eines gewöhnlichen zusammengesetzten Mikroskops, das Object aber auf einen darunter befindlichen Ring, der sich auf und nieder bewegen liess. Hierauf wurden die Gläser aus dem Rohre des Mikroskops genommen und das Auge wurde durch das nun ganz leere Rohr nach dem Bilde gerichtet, welches dadurch immer kleiner und kleiner gemacht wurde, dass man den Ring mit dem darauf liegenden Objecte weiter rückte.

War die Grenze der Sichtbarkeit erreicht, so kam wieder ein Ocular- und ein Objectivglas an das Mikroskoprohr, und dann wurde mittelst eines Ocularschraubenmikrometers der Durchmesser des Bildes in gleicher Weise gemessen, als wäre dasselbe ein wirkliches Object.

Zur Beleuchtung liess sich hier nicht künstliches Licht benutzen,

wie bei den früheren Beobachtungen, weil dasselbe in gleichem Verhältniss mit der Grösse des Objects abnimmt, so dass man damit niemals ein erleuchtetes Gesichtsfeld bekommt. Alle Beobachtungen sind deshalb bei Tageslicht angestellt worden, und zwar, wenn nicht das Gegentheil ausdrücklich angegeben wird, in der Weise, dass der flache Spiegel einem so viel möglich gleichmässig hell bewölkten Himmel zugekehrt wurde.

Solche Gesichtseindrücke, wobei das Netzhautbildchen kein wahres Bild, sondern ein Schattenbild auf einem erleuchteten Gesichtsfelde ist, wollen wir weiterhin negative nennen, im Gegensatz zu den positiven oder solchen, wo die Netzhaut ein wahres Lichtbild empfängt, das sich auf einem dunkeln Gesichtsfelde abzeichnet.

Dass es bei Bestimmung der Grenzen des Sehvermögens von Wichtigkeit ist, diesen Unterschied im Auge zu behalten, ergiebt sich schon aus den früher mitgetheilten Beobachtungen so wie aus dem, was über die Irradiation gesagt worden ist. Bei positiven Gesichtseindrücken wird das eigentliche Netzhautbildchen nach auswärts sich ausbreiten, und somit wird es zu einer Vergrösserung desselben kommen. Gerade das Umgekehrte wird bei negativen Gesichtseindrücken stattfinden, nämlich das Lichtbild des Gesichtsfeldes auf der Netzhaut wird sich über das Schattenbild des Objects nach einwärts ausbreiten, und folglich wird dieses Schattenbild kleiner und weniger wahrnehmbar werden.

Für mein rechtes Auge, dessen mittlere Sehweite nach den mit dem 92
Optometer vorgenommenen Messungen (§. 67) 162 mm beträgt, und dessen Accommodationsvermögen (§. 69) derart ist, dass es alle Objecte scharf sieht, die sich in einer Entfernung von 100 bis 270 mm von der Hornhaut befinden, erhielt ich folgende Resultate:

Negative Gesichtseindrücke.

	Entfernung des Auges in Millimetern.	Durchmesser des kleinsten noch sichtbaren Bildes in Mmm.	Kleinster Gesichtswinkel.
Runde Objecte.	130	28,5 = $^1/_{35}$ mm	42,0″
	170	34,6 = $^1/_{28,9}$	39,7
	200	44,2 = $^1/_{22,6}$	43,5
	250	50,5 = $^1/_{19,8}$	40,1
Fadenförmige Objecte.	130	2,45 = $^1/_{408}$	3,6
	170	3,27 = $^1/_{306}$	3,7
	250	4,80 = $^1/_{209}$	3,8

Bevor aus diesen und den folgenden Resultaten Schlüsse gezogen werden dürfen, muss erst untersucht werden, in wie weit die Grenzen der Sichtbarkeit dioptrischer Bilder mit jenen von wahren Objecten übereinstimmen. Die Resultate der in Tab. I. und Tab. II. verzeichneten Beobachtungen lassen sich damit nicht ganz vergleichen, weil bei jenen nur künstliches Licht in Anwendung kam. Ich habe deshalb auch einige Beobachtungen beim Lichte eines weiss bewölkten Himmels angestellt und dazu solche kugelförmige Objecte gewählt (Nr. 13, 15, 16, 17 und 18 der kugelförmigen im §. 77 verzeichneten Objecte), deren Sichtbarkeit noch ganz innerhalb der Grenzen des Accommodationsvermögens meines Auges gelegen ist. Die Beobachtung wurde übrigens ganz in der früher erwähnten Weise ausgeführt.

Durchmesser des Objects in Mmm.	Sichtbarkeit bei einer Entfernung des Auges von	Gesichtswinkel.
46,5 = $^1/_{21,5}$ mm	218 mm	42,1″
40,0 = $^1/_{25}$	205	38,4
37,5 = $^1/_{27}$	187	39,4
32,0 = $^1/_{31,2}$	165	37,7
26,5 = $^1/_{36,4}$	142	37,4

Vergleicht man die Grösse der Gesichtswinkel in dem einen und dem anderen Falle, so sieht man, dass es in Betreff der Sichtbarkeit nur wenig Unterschied macht, ob man dioptrische Bilder oder wirkliche Objecte betrachtet. Trotz alle dem besteht aber doch noch ein Unterschied, wie zu erwarten ist, insofern nämlich ein dioptrisches Bild, auch wenn es durch ein ausgezeichnetes aplanatisches Linsensystem erhalten wurde, doch immer noch einigermaassen den Einfluss der beiderlei Aberrationen zeigen muss. Der mittlere kleinste Gesichtswinkel der kugelrunden Objecte ist 39″ bei der genannten Beleuchtuug, bei den dioptrischen Bildern der nämlichen Objecte dagegen ist er 41,3″. Die Sichtbarkeit der letzteren verhält sich also zu jener der ersteren wie 1 : 0,95. Ist auch diese Proportion wegen der zu geringen Anzahl von Beobachtungen nicht als eine ganz genaue anzusehen, so ist sie doch ausreichend, um darzuthun, dass, wenn man an der Grenze der Sichtbarkeit eines solchen Bildes angekommen ist, man sich auch der Sichtbarkeitsgrenze eines wirklichen Objects von gleicher Grösse nahe befindet.

93 Um die Grenzen der Sichtbarkeit positiver Gesichtseindrücke zu bestimmen, dienten geschwärzte kupferne Plättchen, die entweder mit

einer runden Oeffnung oder mit einem Spalte versehen waren. Dabei wurde alles von aussen kommende Licht sorgfältig abgehalten durch zweckmässig angebrachte Futterale und dadurch, dass ein Tuch über den Kopf gehängt wurde. Sonst wurde bei der Bestimmung auf die nämliche Weise verfahren, wie oben angegeben worden ist.

Positive Gesichtseindrücke.

	Entfernung des Auges in Millimetern.	Durchmesser des kleinsten noch sichtbaren Bildes in Mmm.	Kleinster Gesichtswinkel.	Das durch die Oeffnung fallende Licht.
Runde Oeffnung.	170	8,10 = $^1/_{24}$ mm	9,29″	Dunkel bewölkter Himmel.
	195	1,08 = $^1/_{929}$	1,08	Glänzend weisse Wolke.
	250	11,90 = $^1/_{84}$	9,46	Dunkel bewölkter Himmel.
	278	0,88 = $^1/_{1137}$	0,89	Starkes Sonnenlicht.
Spalt.	160	0,230 = $^1/_{4359}$	0,28	Grauer Himmel.
	160	0,096 = $^1/_{10438}$	0,15	Starkes Sonnenlicht.

Hier macht sich sogleich eine grosse Verschiedenheit bemerklich je nach der Art des durch die Oeffnung fallenden Lichtes. Das Bild einer Oeffnung, durch welche Sonnenlicht geht, wird noch unter einem 11 Male kleineren Gesichtswinkel gesehen, als das einer Oeffnung, welche dem dunkel bewölkten Himmel zugekehrt ist; die Oeffnung kann also 11 Male kleiner sein und ist doch noch sichtbar.

Sodann ersieht man deutlich, wie sehr positive und negative Gesichtseindrücke in Betreff der Sichtbarkeit sich von einander unterscheiden. Der Gesichtswinkel, unter welchem eine Oeffnung beim schwachen Lichte eines dunkel bewölkten Himmels noch sichtbar ist, kann 4 bis 5 Male kleiner sein, als jener eines undurchsichtigen Objects auf einem erhellten Grunde. Sobald aber Sonnenlicht durch die Oeffnung geht, kann der Gesichtswinkel 50 Male kleiner sein.

Es folgt aus diesen Beobachtungen, dass bei negativen Gesichtseindrücken die Sichtbarkeit grösstentheils von der Grösse und der Entfernung des Objects abhängig ist, von dem der Eindruck erzeugt wird, bei positiven Gesichtseindrücken dagegen diese Grösse und Entfernung nur wenig in Betracht kommen, vielmehr die Intensität des vom Objecte ausgehenden Lichts die Sichtbarkeit vorzugsweise bestimmt. Es kann daher auch nicht Wunder nehmen, dass Sterne, die einen Gesichtswinkel von weniger als 1″ haben, am Himmel sichtbar sind, da ja auch eine Oeff-

nung, wodurch Sonnenlicht geht, unter einem merklich kleineren Winkel noch sichtbar ist.

94 Nach dieser Methode lässt sich auch die Unterscheidbarkeit der Gesichtseindrücke bestimmen, wie man aus den folgenden Beobachtungen ersehen kann, von denen die ersteren mittelst eines Messingdrahtgeflechtes angestellt wurden, woran die Dicke des Drahts zum Interstitium sich wie 1 : 1,58 verhielt, die anderen aber mittelst eines geschwärzten Plättchens mit zwei gleich grossen runden Oeffnungen, deren Interstitium gerade doppelt so gross war als die einzelne Oeffnung.

a. Unterscheidbarkeit der Maschen eines Drahtgeflechts.

Entfernung des Auges.	Durchmesser des noch sichtbaren Bildes in Mmm.		Kleinster Gesichtswinkel der	
	Drähte.	Interstitium.	Drähte.	Interstit.
170mm	26,2 = $^1/_{38,2}$ mm	41,4 = $^1/_{24,1}$ mm	30,0″	47,4″
250	38,3 = $^1/_{26,1}$	60,5 = $^1/_{16,5}$	30,4	48,0

b. Unterscheidbarkeit zweier runder Oeffnungen.

Entfernung des Auges.	Durchmesser des noch sichtbaren Bildes in Mmm.		Kleinster Gesichtswinkel der	
	Oeffnungen.	Interstitium.	Oeffnungen.	Interstit.
170mm	53,8 = $^1/_{18,6}$ mm	107,6 = $^1/_{9,3}$ mm	61,7″	123,4″
250	74,6 = $^1/_{13,4}$	149,3 = $^1/_{6,7}$	59,2	118,4

Aus diesen Beobachtungen lässt sich die Folgerung ziehen, dass, wenn positive und negative Gesichtseindrücke mit einander wechseln, ohne dass die eine oder die andere Art ein entschiedenes Uebergewicht hat, dieselben leichter von einander zu unterscheiden sind, als zwei positive Gesichtseindrücke für sich allein. Dies erklärt sich sogleich aus der starken Irradiation und der Verschmelzung der Lichtbilder als Folge der stärkeren Erregbarkeit der Netzhaut bei einem sonst ganz schwarzen Gesichtsfelde. Dass diese Unterscheidbarkeit durch Verstärkung des durchfallenden Lichts noch abnehmen werde, ist zu deutlich, als dass es

nöthig wäre, es noch durch ausdrückliche Beobachtungen nachzuweisen. Als Beispiele können die Doppelsterne dienen, die ganz den nämlichen Eindruck machen, wie die beschriebenen Bildchen zweier runder Oeffnungen, wodurch Licht fällt. Die Sterne ε und 5 Lyrae, welche 3,27″ auseinander stehen, erscheinen im Allgemeinen auch dem schärfsten Auge nur als ein einziger Stern. Die beiden in α Capricorni enthaltenen Sterne stehen 6,30″ von einander, und werden nur von ungemein guten Augen als getrennt erkannt. Selbst der kleine Stern, welcher bei ζ des grossen Bären steht und 11″ davon entfernt ist, wird nur selten in unserer Atmosphäre wahrgenommen. (Mädler's Astronomie S. 447.)

Die Frage nach den Grenzen des Gesichtsvermögens umfasst auch noch die andere Frage, wie klein die Objecte werden können, ohne dass die Erkennung der Form darunter leidet. Die folgenden Versuche wurden mit viereckigen undurchsichtigen Objecten auf erhelltem Grunde angestellt: 95

Entfernung des Auges.	Wahrnehmung der viereckigen Körper.	Gesichtswinkel.
170mm	170 Mmm. = $\frac{1}{5,7}$ mm	206″
250	266 „ = $\frac{1}{3,8}$	212

Vergleicht man diese Data mit den Grenzen der Sichtbarkeit runder Objecte (§ 92), so ergiebt sich, dass die Form eines Gegenstandes schon lange vorher nicht mehr wahrnehmbar ist, bevor derselbe aufhört sichtbar zu sein. Viereckige Körper müssen, um erkannt zu werden, etwa fünfmal grösser sein, als sie zu sein brauchen, wenn es sich blos darum handelt, dass sie gesehen werden. Dass andere mehr polygonale Körper von runden sich noch schwerer unterscheiden lassen als viereckige, bedarf keines besonderen Beweises, da man im Allgemeinen als Regel aufstellen kann, ein Object, über dessen Form mit Sicherheit geurtheilt werden soll, müsse um so grösser sein, je mehr Winkel und Seiten die dem Auge zugekehrte Oberfläche besitzt.

Mit blossem Auge nehmen wir die Objecte gewöhnlich bei auffallendem Lichte wahr, und das Netzhautbild besteht dann aus einem Gemisch positiver und negativer Gesichtseindrücke. Ueberdies sind diese Bilder nicht einfach schwarz oder weiss, sondern in der Regel sind sie verschiedenartig gefärbt. Dass die verschiedenen Farben durch ihren Gegensatz auf die Sichtbarkeit der Körper einen sehr merkbaren Einfluss ausüben, ergiebt sich aus den Versuchen Plateau's (*Sur quelques propriétés des impressions produites par la lumière*, p. 25). Dieser befestigte 96

weisse, gelbe, rothe und blaue Papierstreifchen, die einen Centimeter Breite hatten, auf eine vertical stehende schwarze Tafel und entfernte sich dann von dieser, bis er die Streifen nach einander verschwinden sah. Durch Berechnung erhielt er dann für jeden der farbigen Streifen folgenden Gesichtswinkel, unter dem sie noch sichtbar waren.

	Gesichtswinkel	
	im Schatten.	im Sonnenschein.
Weiss	18″	12″
Gelb	19	13
Roth	31	23
Blau	42	26

Bei auffallendem Lichte werden also die Grenzen der Sichtbarkeit bestimmt ebensowohl durch die Form des Objectes, als durch dessen Färbung im Verhältniss zur Färbung des Gesichtsfeldes. Wäre es ein weisses Gesichtsfeld gewesen statt eines schwarzen, dann würde die Sichtbarkeitsdistanz der Farben gerade in umgekehrter Ordnung auf einander gefolgt sein.

97 Bei durchfallendem Lichte kommen andere Eigenthümlichkeiten vor. Durch das Object werden hierbei eine Menge Lichtstrahlen aufgefangen, die ohne seine Zwischenlagerung zur Netzhaut gelangt sein würden: der Eindruck wird deshalb um so stärker, die Sichtbarkeit des Objects um so entschiedener sein, je grösser die Anzahl der von der Netzhaut abgehaltenen Strahlen ist, wodurch daselbst ein Schattenbildchen erzeugt wird.

Es sind aber nicht blos die wirklich undurchsichtigen Körper, die auf solche Weise wahrgenommen werden können. Auch die durchsichtigsten festen und flüssigen Körper, ja unter besonderen Umständen selbst die Gase, erzeugen bei durchfallendem Lichte einen Gesichtseindruck. Der Grund hiervon liegt zunächst darin, dass viele Körper nur für einige Strahlen des weissen Lichtes durchsichtig sind und andere Strahlen absorbiren, wodurch sie alsdann gefärbt erscheinen.

Sodann kommt aber auch das Brechungs- und Reflexionsvermögen dieser Körper in Betracht, wodurch die Lichtstrahlen eine Ablenkung von der ursprünglichen Richtung erfahren, so dass einige gar nicht ins Auge gelangen. Eine Folge dieser Ablenkung ist es, dass ein Theil der durchsichtigen Körper dunkel erscheint. Da die Grösse der Ablenkung zu einem guten Theile von der besonderen Form abhängig ist, welche ein Körper besitzt, so hat die Form auch einen grossen Einfluss auf die

Sichtbarkeit. So wird z. B. eine dünne Glasplatte nur eben erkannt werden an den Rändern, von denen wir, falls das auffallende Licht ausgeschlossen ist, keine Lichtstrahlen empfangen; ist aber die nämliche Glasmasse zu einer Kugel umgeschmolzen, dann wird man nur die Mitte dieser Kugel erhellt sehen, und im Umfange bemerkt man einen breiten dunkeln Rand.

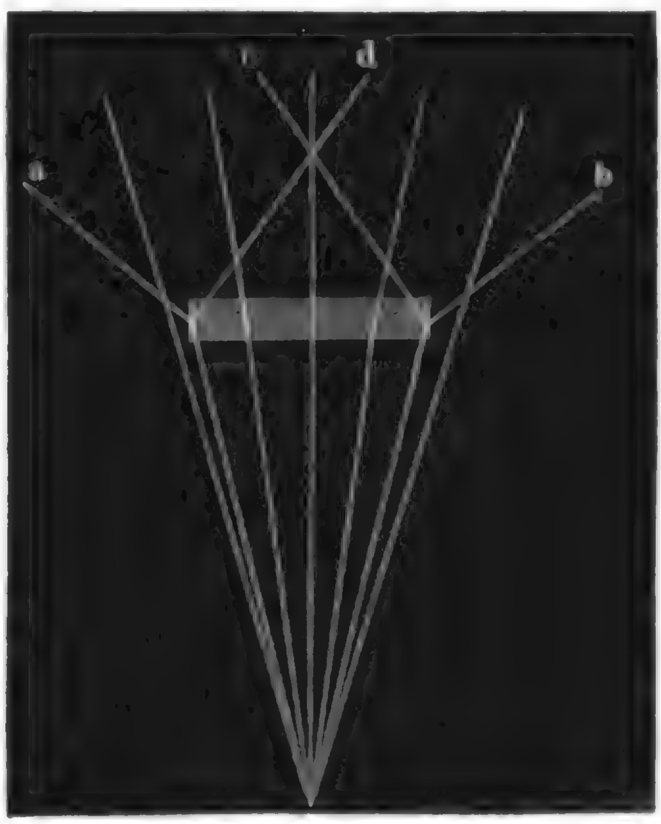
Aber nicht blos die Form, sondern auch die Richtung, in welcher wir ein und dasselbe Object betrachten, übt ihren Einfluss aus. Ein Glaswürfel, der eine seiner Flächen dem Auge zukehrt, wird viel weniger gut gesehen werden, als wenn einer von seinen Winkeln so gerichtet ist. Der Grund davon ist klar. Im ersteren Falle treten fast alle Strahlen, welche die vorderste Fläche erreichten, in der nämlichen Richtung wieder nach aussen, im zweiten Falle dagegen werden sie nach allen Richtungen hin gebrochen oder reflectirt, so dass ein Theil der Flächen schwarz erscheint.

Wenn man eine farblose Glasplatte mit parallelen Flächen hätte, deren Seitenflächen vollkommen rechtwinkelig und glatt wären, welche Forderungen freilich in der Wirklichkeit niemals vollkommen erreichbar sind, und man liesse auf eine solche Platte parallele Strahlen lothrecht fallen, so würde ein dahinter befindliches Auge keine Spur dieser Platte sehen. Es würden alle Strahlen durch die Platte und längs derselben hingehen (Fig. 46), ohne eine Abänderung der Richtung zu erfahren. Fie-

Fig. 46.



Fig. 47.



len aber parallele Strahlen in schiefer Richtung auf die nämliche Glasplatte, oder träfe ein Bündel divergirender Strahlen auf dieselbe (Fig. 47), dann würden die Ränder sichtbar werden, weil die hier auffallenden Strahlen theils nach *a* und *b* gebrochen, theils nach *c* und *d* reflectirt

werden, so dass weder die gebrochenen noch die reflectirten Strahlen das Auge erreichen. Dies ist der Hauptgrund, weshalb viele durchsichtige Körper bei künstlichem Lichte schwärzere Ränder zeigen als beim Tageslichte. Später wird sich die Anwendbarkeit dieser Beobachtungen auf die Beleuchtung mikroskopischer Gegenstände herausstellen.

Im Allgemeinen darf man annehmen, dass, je eckiger und unregelmässiger die Gestalt eines durchsichtigen Körpers ist, desto mehr auch die Strahlen dadurch in allen Richtungen zerstreut werden. Daher rührt es, dass kleine Partikelchen sehr durchsichtiger Körper, z. B. pulverisirtes Glas, das abgeschliffene Pulver des Diamanten u. s. w. fast ganz undurchsichtig sind. Daher rührt es auch, dass die dünnsten Kreideplättchen undurchsichtig sind, obwohl die kleinen Partikelchen, woraus die Kreide besteht, das Licht recht gut durchlassen.

98 Diese Zerstreuung findet aber nicht blos bei durchfallendem Lichte statt, auch die Strahlen des auffallenden Lichtes werden an zahllosen Stellen in allerhand Richtungen reflectirt und zerstreut, und dies ist der Grund, weshalb das Pulver solcher Körper weiss erscheint. Das Nämliche nimmt man auch bei der Luft wahr. Ist dieselbe stark zertheilt, z. B. durch Schütteln mit Seifenwasser, dann werden die kleinen Kügelchen weiss erscheinen. Schliesst man dann das auffallende Licht aus und betrachtet die nämlichen Luftkügelchen nur bei durchfallendem Lichte, so wird man an allen einen breiten schwarzen Rand wahrnehnehmen, in der nämlichen Form und aus dem nämlichen Grunde, weshalb man an einer Glaskugel einen derartigen Rand bemerkt.

Selbst sehr kleine Verschiedenheiten im Brechungsvermögen der Medien werden vom Auge noch wahrgenommen. Die kleinsten Spuren einer ungleichen Mengung in einer gläsernen Linse, die sich als Adern oder Streifen darstellen, die Trennungsgrenze zweier Flüssigkeiten mit verschiedenem Brechungsindex, z. B. Wasser und Schwefelsäure, Wasser und Aether u. s. w., erkennt man ohne Mühe. Ja selbst die wogenden Bewegungen in der Luft, die über einer erwärmten Fläche, z. B. über einem Ofen aufsteigt, weil sich die erwärmte Luft mit der kälteren umgebenden mengt, werden durch starkes durchfallendes Licht, wie Sonnenlicht, wahrnehmbar, weil die warme Luft und die kalte Luft nicht ganz das nämliche Brechungsvermögen besitzen. Dass auch bei auffallendem Lichte ein geringer Unterschied im Gange der reflectirten Strahlen dem Auge nicht entgeht, sehen wir bei den mancherlei linnenen, kattunen und seidenen Stoffen (Damast, Köper u. s. w.), bei denen lediglich durch den wechselnden Lauf der Fäden, die bald in dieser, bald in jener Richtung dem Auge zugekehrt sind, allerlei Zeichnungen sichtbar werden. Das stärkere oder schwächere Hervortreten dieser Zeichnungen aber ist, wie Jedermann weiss, von der Art und Weise abhängig, wie das Licht auf solche Stoffe auftrifft.

99 Da nun das Brechungs- und Reflexionsvermögen der farblosen durchsichtigen Körper der einzige Grund ist, weshalb sie bei durchfallen-

dem Lichte sichtbar sind, so versteht es sich von selbst, dass das umgebende Medium den allerbedeutendsten Einfluss auf deren Sichtbarkeit ausüben muss. Je mehr die Brechungsindices der Substanz, woraus ein Object besteht, und des Mediums, durch welches die Strahlen gehen müssen, um das Auge zu erreichen, von einander differiren, um so grösser ist auch die Zahl jener Strahlen, die in Folge der Brechung nicht hineingelangen können. Daher rührt es, dass man im Stande ist, den nämlichen Körper mehr oder weniger durchsichtig zu machen. Glaspulver z. B. mit dem Brechungsindex 1,5 ist in Luft mit dem Brechungsindex 1,000294 fast ganz undurchsichtig; in geringerem Maasse erscheint es so unter Wasser mit dem Brechungsindex 1,336; noch durchscheinender wird es unter Alkohol (1,374); in Terpentinöl endlich, dessen Brechungsindex (1,478) jenem des gewöhnlichen Glases nur wenig nachsteht, kann es kaum noch gesehen werden. Eine Kronglaslinse wird in Terpentinöl nur mit Mühe wahrgenommen, und ein dünnes Glasplättchen sieht man gar nicht mehr darin. Später werden wir sehen, wie wichtig die Anwendung dieser Thatsachen auf die mikroskopische Beobachtung ist.

Es versteht sich von selbst, dass jeder Gesichtseindruck einer 100
bestimmten Zeit bedarf, um wahrnehmbar zu sein. Dass dieser Zeitraum jedoch ein äusserst kurzer sein kann, ergiebt sich aus der Sichtbarkeit des elektrischen Funkens, der so rasch verschwindet, dass ein damit beleuchteter Körper, der in schneller Drehung begriffen ist, still zu stehen scheint. Nach den Versuchen von Wheatstone (Phil. Transact. 1835., II. p. 583) ist $^1/_{1000000}$ Secunde ausreichend, um einen Gesichtseindruck hervorzubringen. Kann man nun in diesem Betracht die Fähigkeit des Auges, Gesichtseindrücke aufzunehmen, als eine fast unbeschränkte bezeichnen, so verhält es sich ganz anders mit dessen Fähigkeit, die in der Zeit auf einander folgenden Eindrücke zu unterscheiden. Jeder Gesichtseindruck nämlich, der einmal entstanden ist, hat eine gewisse Dauer und besteht noch eine Zeit lang fort, auch nachdem das leuchtende Object, wodurch er hervorgerufen wurde, bereits verschwunden ist. Daher rührt es, dass eine Reihe von Gesichtseindrücken, welche sehr schnell auf einander folgen, nicht mehr gesondert wahrgenommen werden können. Die Speichen in den Rädern eines schnell sich bewegenden Wagens z. B. können wir nicht mehr unterscheiden. Die niederfallenden Regentropfen und Hagelkörner erscheinen dem Auge streifenförmig, und ein glühender Körper, der schnell herum gedreht wird, wird als feuriger Kreis wahrgenommen. Auch manche physikalische Spielzeuge, die stroboskopischen Scheiben, Horner's Daedaleum u. s. w., finden ihre Erklärung in dieser Fortdauer der Gesichtseindrücke.

Es ist schon im Voraus zu erwarten, dass die Dauer jedes Gesichtseindruckes eine verschiedene sein und vom Eindrucke selbst abhängen muss. Dies wird auch einigermaassen durch die Versuche von Plateau (a. a. O. S. 9.) bestätigt, der verschieden gefärbte Papierstreifen auf

einem schwarzen Grunde befestigte und durch ein Räderwerk schnell umdrehte. War die Schnelligkeit der Umdrehung bekannt, so konnte dann die Zeit bestimmt werden, welche nöthig war, damit der gefärbte Papierstreifen noch als solcher erkannt wurde. Es ergaben sich bei diesen Versuchen für

Weiss	0,35	Secunden
Gelb	0,35	»
Roth	0,34	»
Blau	0,32	»

Man ersieht hieraus, dass der Gesichtseindruck am kürzesten andauert bei jenen Farben, deren Sichtbarkeit nach den oben mitgetheilten Versuchen Plateau's (§. 96) unter gleichen Umständen am geringsten ist. Im Allgemeinen lässt sich also als Regel aufstellen, dass die Unterscheidbarkeit der zeitlich auf einander folgenden Gesichtseindrücke in dem Maasse zunimmt, als ihre Stärke abnimmt. Uebrigens sind die hierbei gefundenen Verschiedenheiten nicht sehr hervortretend, und sie würden vielleicht grösser ausfallen, wenn man in der Beobachtung der Objecte mehr Modificationen eintreten liesse. Ohne gerade beweisende Versuche für seine Behauptung anzuführen, giebt Young (*A course of lectures on natural philosophy*, Vol. I, p. 455) an, die Dauer der Gesichtseindrücke wechsele von 0,01 bis 0,50 Secunde, und sie sei um so länger, je stärker der Eindruck war. Man wird sich aber nicht weit von der Wahrheit entfernen, wenn man als Mittel annimmt, dass unter gewöhnlichen Umständen $^1/_3$ Secunde zwischen zwei auf einander folgenden Eindrücken liegen muss, wenn sie gesondert zum Bewusstsein gelangen sollen.

101 Dass auch im Zustande des Auges selbst noch besondere Ursachen enthalten sein können, wodurch die Grenzen des Gesichtsvermögens in stärkerem oder schwächerem Maasse eingeengt werden, ist hinlänglich bekannt. Die Betrachtung solcher Ursachen, welche in erheblichen pathologischen Zuständen der das Auge zusammensetzenden Theile enthalten sind, darf hier als überflüssig erscheinen, da sich Niemand mit mikroskopischen Untersuchungen beschäftigen wird, dessen Augen sich nicht in einem gesunden Zustande befinden. Doch auch das gesundeste Auge unterliegt dem störenden Einflusse einzelner Erscheinungen, die im Auge selbst ihren Sitz haben, und die von solchen, welche mit diesen Erscheinungen unbekannt sind, leicht auf Rechnung ausserhalb des Auges gelegener Körper geschrieben werden.

Die Erscheinungen, welche hier gemeint sind, kann man unter der allgemeinen Bezeichnung der entoptischen zusammenfassen. Sie sind aber keineswegs von der nämlichen Beschaffenheit bei verschiedenen Personen; deshalb muss jeder Beobachter diejenigen, welche seinem Auge eigenthümlich sind, kennen zu lernen suchen.

102 Wären die Medien, aus denen das Auge zusammengesetzt ist, vollkommen durchsichtig und hell, so würde auf der erhellten Ober-

fläche der Netzhaut nirgends ein Schattenbild entstehen können, so lange nicht ein ausserhalb des Auges befindliches Object ein solches erzeugte. Die vollkommenste Durchsichtigkeit der Augenmedien, wenn sie überhaupt vorkommt, wird jedoch nur höchst selten angetroffen, und da die Netzhaut von allen Objecten, die ihr den Zutritt der Lichtstrahlen beeinträchtigen, ein Schattenbildchen empfängt, so werden, wie von den ausserhalb des Auges befindlichen Objecten, ebenso auch von jenen im Auge selbst vorkommenden auf der Netzhaut Schattenbildchen erzeugt werden, mögen dieselben nun wirklich undurchsichtig sein, oder mögen sie in Folge der Brechung der Lichtstrahlen deren Ablenkung bewirken. Dergleichen Schattenbilder von inneren Objecten sind freilich nur schwach ausgeprägt und deshalb oftmals nicht wahrnehmbar; unter besonderen Umständen indessen treten sie deutlich hervor, so dass der damit nicht bekannte Beobachter einer Selbsttäuschung unterliegen kann. Sie treten vorzüglich in dem Falle auf, wenn das Auge durch eine kleine Oeffnung sieht, z. B. durch Teleskope oder Mikroskope. Da aber diese Erscheinungen zu der sonstigen optischen und mechanischen Einrichtung dieser Instrumente in gar keiner Beziehung stehen, so kann jeder, der sich auf gehörige mikroskopische Thätigkeit vorzubereiten wünscht, vor Allem den störenden Einfluss dieser Körperchen im eignen Auge kennen lernen.

Am besten erlangt man diese Kenntniss auf folgende Weise. Man 103
sticht mit einer feinen Nadel ein kleines Löchelchen von etwa $^1/_{10}{}^{mm}$ Durchmesser in ein undurchsichtiges Kartenblatt, und hält dasselbe so dicht vor das Auge, dass die Oeffnung bedeutend vergrössert sich darstellt; indessen auch nicht zu dicht, weil die Erscheinungen alsdann weniger scharf hervortreten. Hierauf richtet man das Auge auf eine stark erhellte Oberfläche, z. B. auf eine von der Sonne beschienene weisse Wand, oder auf ein Blatt Papier, oder auf die matt geschliffene Kugel einer Argand'schen Lampe. Man wird dann die Oeffnung zuerst als ein schwach erhelltes Gesichtsfeld wahrnehmen, und indem man das Auge abwechselnd schliesst und öffnet, wird man zugleich wahrnehmen, dass dieses Gesichtsfeld grösser oder kleiner wird, jenachdem die Pupille sich erweitert oder verengert. Der dunkele Rand, wodurch das Gesichtsfeld begrenzt wird, ist in der That nichts anderes, als das Schattenbild der Iris auf der Netzhaut. Auf letzterer zeigen sich auch Schattenbildchen aller anderen Körperchen, die sich zwischen ihr und der kleinen Oeffnung befinden. Da alle diese Bildchen somit von Objecten kommen, die unter einem sehr grossen Gesichtswinkel wahrgenommen werden, so müssen sie nothwendiger Weise im Vergleich zu den sie erzeugenden Objecten eine sehr ansehnliche Grösse haben. Man erkennt dies in dem Falle, wenn ein sehr feines Geflecht oder ein anderer kleiner Gegenstand vor die Oeffnung gehalten wird, desgleichen auch aus dem Schatten, der von den Cilien auf der Netzhaut entsteht, wenn dieselben durch Zukneifen des Auges vor die Oeffnung gebracht werden, wobei man auch zugleich mit wahrnehmen wird, dass die Cilien des oberen Au-

genlids nach aufwärts gerichtet sind. Der Grund davon liegt darin, dass die kleine Oeffnung, die als ein leuchtender Punkt angesehen werden kann, sich im Brennpunkte des Auges oder in dessen Nähe befindet, und dass die Lichtstrahlen, welche von da ins Auge treten, gleich denen aus dem Brennpunkte einer Linse oder eines Linsensystems (§. 39) parallel oder selbst etwas divergirend werden; es kommt demnach nicht zu einer Kreuzung und das Schattenbild hat gerade die umgekehrte Stellung als ein gewöhnliches Netzhautbild. Natürlich gilt diese Umkehrung auch von allen übrigen auftretenden Schattenbildern sowie von ihrer Bewegungsrichtung, und es scheinen die Objecte zu sinken, wenn sie wirklich sich heben, und umgekehrt scheinen die Schattenbilder der sich senkenden Objecte gehoben zu werden.

104 Die auffallendste und dabei am meisten störende unter diesen Erscheinungen ist jene, welche unter dem ganz unpassenden Namen der *Mouches volantes* bekannt ist. Nur bei wenigen Augen wird diese Erscheinung gänzlich vermisst; doch tritt sie in einem Auge stärker hervor als in einem anderen, und selbst von einer und der nämlichen Person wird sie zu verschiedenen Zeiten stärker und schwächer wahrgenommen. Gar nicht selten kommt es vor, dass diese *Mouches volantes* auch schon beim gewöhnlichen Sehen mit zerstreutem Lichte wahrgenommen werden; doch werden sie immer deutlicher gesehen, wenn man durch kleine Oeffnungen blickt. Nicht immer haben sie die nämliche Gestalt. Die Grundform besteht übrigens meistens in runden Ringen, die im Inneren hell sind und einen dunkeln, manchmal farbigen Rand besitzen. Sie haben scharfe Umrisse, woraus zu entnehmen ist, dass die Körperchen, durch welche die Erscheinung zu Stande kommt, nicht weit von der Netzhaut entfernt sein können. Donders hat den hinteren Theil des Glaskörpers als die Stelle nachgewiesen, wo die Körperchen liegen, durch welche diese Form der *Mouches volantes* erzeugt wird; er und Janssen haben dort auch runde Körperchen von $^{1}/_{60}$ bis $^{1}/_{80}{}^{mm}$ Durchmesser entdeckt, d. h. von einer Grösse, die nach der Berechnung genau zur Grösse ihrer auf der Netzhaut entstehenden Bildchen passt. Diese sehr verbreitete Form der *Mouches volantes* hat grosse Aehnlichkeit mit jener der menschlichen Blutkörperchen, wenn sie bei mässiger Vergrösserung betrachtet werden. Manchmal stellen sie sich in verschiedenen Schichten dar, was daran erkenntlich ist, dass eine Schicht vor der anderen deutlicher wahrgenommen wird; sie können mithin nicht alle gleich nahe der Netzhaut liegen. Oftmals sind diese Ringelchen zu grösseren und kleineren Gruppen vereinigt. Manchmal kommt auch eine perlschnurartige Vereinigung vor, und diese Form macht wieder den Uebergang zu den doppelten Streifen oder Fasern, die mehr oder weniger scharf begrenzt sind und nicht selten Schlingen bilden. Endlich sieht man oftmals Gruppen der erstgenannten Ringelchen, die mit einem faserigen Anhängsel versehen sind. Diese Form ist es wohl, welche von Manchem als spermatozoidenförmig bezeichnet worden ist.

Bei einer gemeinschaftlich mit Schroeder van der Kolk angestellten Untersuchung habe ich Fasern entdeckt, von denen die eine oder die andere der genannten Formen offenbar herrührt. Sie kommen in der die Glasfeuchtigkeit umschliessenden und durch Fortsätze sie in Fächer theilenden Membran vor, hängen aber nur locker damit zusammen, sind zum Theil gegliedert oder perlschnurförmig und haben grosse Neigung zur Schlingenbildung.

Alle diese Körperchen bewegen sich im Gesichtsfelde, auch unabhängig von der scheinbaren Bewegung, welche von der veränderten Richtung der Gesichtsaxe herrührt. Davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man, während die Oeffnung im Kartenblatte auf die nämliche Stelle gerichtet bleibt, die Augenaxe rasch nach oben oder nach unten richtet und dann wieder mit dem Auge durch die Oeffnung blickt. Eine Anzahl jener Körperchen, welche diese Erscheinungen hervorrufen, ist dann beweglich geworden, und ihre Schatten werden in der Regel als sinkend sich darstellen, zum Beweise, dass die Körperchen selbst eine steigende Bewegung machen, also specifisch leichter als die Glasfeuchtigkeit sind.

Von diesen *Mouches volantes* unterscheiden sich durch die Lo- 105
calität gar sehr andere Erscheinungen, die man im Gesichtsfelde erblickt, wenn man durch eine kleine Oeffnung sieht. Da nach dem Angegebenen alle Modificationen der Pelluciditát in den Medien durch Schattenbilder auf der Netzhaut sich kund geben, so erkennt man auch das kleinste Fleckchen und Streifchen auf der Hornhaut, jede sonst ganz unwahrnehmbare Unvollkommenheit der Krystalllinse, ferner Körperchen, die im *Humor aqueus* oder im *Corpus vitreum* schweben, die Fettpartikelchen aus den Meibom'schen Drüsen, die nach vorgängigem Zukneifen der Augenlider als glänzende Tröpfchen mit breiten Schattenrändern auf der Oberfläche der Hornhaut scheinbar herabsinken, in der Wirklichkeit aber in die Höhe steigen, die kleinen Runzeln, welche bei einem Drucke auf den Augapfel auf der Hornhaut entstehen u. s. w. Achtet man auf den Gang der Lichtstrahlen, so ist es selbst möglich, für jene Körperchen, welche Schattenbilder hervorrufen, ihr Vorkommen vor oder nahe der Iris, oder auch hinter der Iris mit vollkommener Sicherheit nachzuweisen. Doch haben alle diese Einzelnheiten mehr Interesse für den praktischen Augenarzt als für den mikroskopischen Beobachter.

Dritter Abschnitt.

Allgemeine Beschreibung der Mikroskope.

106 In den vorhergehenden Abschnitten sind die Principien entwickelt worden, deren Anwendung nun folgen muss. Dem Plane gemäss, den ich mir vorgezeichnet habe, wende ich mich jetzt zur allgemeinen Betrachtung der verschiedenen Art und Weise, wie Linsen sowohl als Hohlspiegel zu Mikroskopen sich herrichten lassen. Man erwarte daher nicht, eins dieser Instrumente hier speciell beschrieben zu finden, da einer solchen Beschreibung, wenn sie entsprechend sein soll, zugleich auch eine kritische Basis zukommen muss, die sich auf die vollkommene Kenntniss der Art und der Bestimmung jedes Instruments und seiner Entwickelungsgeschichte, wenn ich mich so ausdrücken darf, zu stützen hat. Ihre besondere Beschreibung verspare ich deshalb für einen späteren Abschnitt, und dorthin verweise ich demnach immer, wenn der Leser eine Einrichtung oder einen Apparat nicht angegeben findet, dessen Beschreibung ihm vielleicht hierher zu gehören scheint.

Im ersten Abschnitte liess ich die Betrachtung der Richtungsänderung der Lichtstrahlen durch katoptrische Medien vorausgehen und dann die Aenderungen durch dioptrische Medien nachfolgen, weil für die ersteren einfachere Gesetze bestehen als für die letzteren. Da aber dioptrische Mikroskope gegenwärtig bei weitem die meiste Verbreitung haben, so wollen wir hier die umgekehrte Ordnung befolgen, und zunächst die Wirkung der Linsen und der Linsensysteme betrachten, wenn sie in der Lupe oder im einfachen Mikroskope zur Anwendung kommen. Manches von demjenigen, was hier besprochen werden wird, ist aber auch so aufzufassen, dass es im Allgemeinen auch auf die übrigen Mikroskope Anwendung findet.

Erstes Kapitel.

Die Lupe und das einfache dioptrische Mikroskop.

Das Auge besitzt die Fähigkeit, Gegenstände, die sich in verschiedenen Entfernungen befinden, mit gleicher Deutlichkeit wahrzunehmen. Auch haben wir im Vorhergehenden gesehen, dass die Grösse des Netzhautbildchens, welches von einem und demselben Objecte entsteht, durchaus von dem Gesichtswinkel bedingt ist, unter welchem dasselbe gesehen wird, das heisst also von der Entfernung des Objectes. Bringen wir irgend einen kleinen Gegenstand dem Auge immer näher und näher, so scheint uns derselbe deshalb immer grösser und grösser zu werden. Dies ist ein Beweis dafür, dass dem Auge selbst ein Vergrösserungsvermögen zukommt, und wenn das Accommodationsvermögen eine unbegrenzte Annäherung des Objects ans Auge gestattete, dann würde der Gebrauch von Lupen und Mikroskopen wirklich ganz überflüssig sein. 107

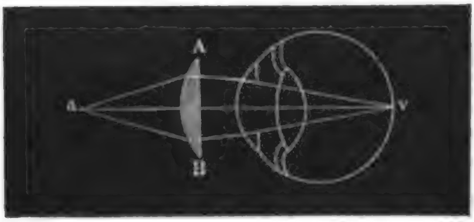
Wegen der grossen Wichtigkeit dieses Punktes für das mikroskopische Sehen wollen wir etwas genauer auf denselben eingehen. Wir haben gesehen, dass es für jedes Auge einen gewissen Grenzpunkt giebt, diesseits dessen ein Object nicht mehr deutlich und scharf wahrgenommen werden kann, weil alsdann die Vereinigungspunkte der Strahlen hinter die Netzhaut fallen. Dem Fernsichtigen liegt dieser Nähepunkt entfernter, als zum gewöhnlichen Sehen wünschenswerth ist; er verbessert diesen Fehler des Accommodationsvermögens durch eine Brille mit convexen Gläsern, wodurch den in das Auge dringenden Lichtstrahlen etwas mehr Convergenz zu Theil wird, so dass das Bildchen nun wiederum auf die Netzhaut fallen kann. In Betreff sehr kleiner Objecte können aber alle Menschen als Fernsichtige gelten. Zu deren Wahrnehmung bedarf also das Auge nur einer convexen Linse, die im Stande ist, auch für den Fall, wo das Object dem Auge ganz nahe ist, die stark divergirende Richtung der Strahlen dergestalt abzuändern, dass sie fast parallel oder doch nur wenig divergirend ins Auge gelangen. Ist diese den Strahlen ertheilte Richtung nun übereinstimmend mit jener der Lichtstrahlen von Körpern, die sich in einer dem deutlichen Sehen entsprechenden Entfernung befinden, dann wird ein ebenso deutliches Bild des Objectes auf der Netzhaut entstehen, wie von diesen Körpern. Man erkennt dies deutlich bei einer Vergleichung von Fig. 48 u. Fig. 49 (a. f. S.) In Fig. 48 fällt das Bild auf *v* hinter die Netzhaut, weil die Strahlen des Objectes *a* zu stark 108

Fig. 48.



divergirend ins Auge gelangen. Ist dagegen, wie in Fig. 49, die Linse *A B* zwischen das Object und das Auge eingeschoben, dann tritt eine derartige Divergenz der Strahlen ein, wie sie stattfinden würde, wenn sich das Object nicht in *a*, sondern irgendwo in *x*, in einer dem deutlichen Sehen entsprechenden Entfernung befände. Deshalb fällt nun das Bildchen in *v* gerade auf die Netzhaut.

Fig. 49.



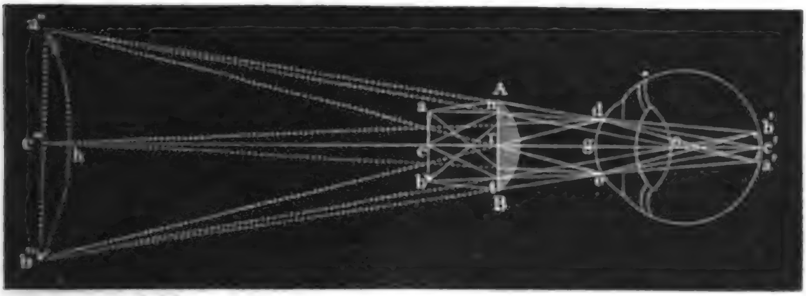
Von der Richtigkeit dieser Auffassung kann man sich ganz einfach überzeugen, indem man eine kleine Oeffnung in ein Kartenblatt macht und diese in geringer Entfernung vom Auge hält. Die Oeffnung wird sich vergrössert darstellen. Den Rändern fehlt es aber so sehr an aller Schärfe und Bestimmtheit, dass es nicht gelingt, die Form derselben zu erkennen; denn die dreieckige oder viereckige Oeffnung wird fast eben so rund sich darstellen, als wäre sie mit einer Stecknadel oder Nähnadel gemacht worden. Bringt man nun eine Linse mit passendem Focus zwischen Auge und Karte, dann tritt die Gestalt der Oeffnung ganz deutlich hervor und ihre Ränder erscheinen scharf. Gleichwohl erscheint sie um nichts grösser als früherhin, vielmehr selbst etwas kleiner; das Diffusionsbild nämlich, welches bei Abwesenheit der Linse auf der Netzhaut entstand, nahm wirklich einen grösseren Raum ein, als das scharfe wahre Bild, welches durch die genaue Vereinigung der Strahlen zu Stande kommt. Weit davon entfernt also, das Bild auf der Netzhaut zu vergrössern, bringt eine Linse, welche dicht vors Auge gehalten wird, eine Verkleinerung desselben hervor, und sie wirkt vornehmlich dadurch vortheilhaft, dass sie dem Netzhautbildchen die Reinheit und Bestimmtheit verschafft, die ohne Einschiebung der Linse fehlen würden.

Diese Wahrnehmung ist deshalb interessant, weil sie uns mit Bestimmtheit darthut, wie gross der noch bei Vielen obwaltende Irrthum ist, als ob die Vortrefflichkeit eines Mikroskopes von dessen Vergrösserungsvermögen abhinge. Dadurch wird die eigentliche Bestimmung dieses Instrumentes gänzlich verkannt, die dahin geht, diffuse Netzhautbilder in scharfe und reine Bilder umzuwandeln. Bei Benutzung des einfachen Mikroskops kommt die Vergrösserung selbst grossentheils auf Rechnung des Auges, und es besitzt dasselbe in dieser Beziehung, wenn man die Sache von theoretischer Seite ansieht, ein unbeschränktes Vermögen. Indessen wird derjenige, der nicht näher als bei 200^{mm} Entfernung scharf sieht, sich wohl hüten, Dinge, die er genau ansehen will, bis auf 50^{mm} zu nähern, wo er sie viermal grösser sehen würde; denn durch Erfahrung weiss

er, dass, wenn die Grösse auf solche Weise vermehrt wird, die Deutlichkeit des Gesichtseindruckes mehr verliert als gewinnt.

Um näher darzuthun, auf welche Weise eine einzelne Linse 109
uns die Gegenstände vergrössert vorführt, verfolgen wir den Gang der Strahlen von einem Objecte bis zur Netzhaut. Wenn *ab* (Fig. 50) ein

Fig. 50.



Object ist, welches sich vor einer Linse *AB* befindet, dann werden von allen Punkten desselben, wie *a*, *c*, *b* u. s. w., Strahlenkegel ausgehen, deren Strahlen, nachdem sie durch die Linse gebrochen worden sind, nur noch in einem geringen Grade divergiren, so dass sie von den entfernter liegenden Punkten *a''*, *c''*, *b''* herzukommen scheinen. Ist die Entfernung dieser Stelle der mittleren Sehweite dieses Auges entsprechend, dann werden die durch die Linse gebrochenen Strahlen, nachdem sie ins Auge eingetreten sind, sich wiederum in *a'c'b'* zu einem Netzhautbildchen vereinigen, welches, wie das immer geschieht, im Verhältniss zum Objecte umgekehrt ist. In jedem Strahlenkegel ist ein Strahl enthalten, der gerade durch den Kreuzungspunkt geht. Hier sind es die Strahlen *ana'*, *crc'* und *btb'*, die sich in *o* schneiden. Durch Einschiebung der Linse *AB* scheint also das Object in eine grössere Entfernung gebracht worden zu sein, wo die Schenkel des Gesichtswinkels *a''ob''* weiter auseinander weichen, und deshalb erscheint das Object vergrössert*).

Dass aber die Vergrösserung nicht blos von einer Annäherung des Objectes zum Auge herrührt, sondern dass auch die Linse zur Vergrösserung des Gesichtswinkels und mithin des Netzhautbildchens beiträgt, entnimmt man deutlich aus der Figur.

Wäre die Linse *AB* nicht vorhanden, dann würde der Gesichtswinkel

---

*) Durch ein einfaches Verfahren kann Jeder die Ueberzeugung sich verschaffen, dass das scheinbare Bild irgend eines durch eine Linse betrachteten Objectes weiter vom Auge entfernt ist als das Object selbst. Hält man nämlich eine Linse mit einer nicht zu grossen Brennweite über den Rand einer Tafel oder eines Buchs und versucht dann mit dem Finger oder einem anderen Körper gegen diesen Rand zu stossen, so wird man immer finden, dass man in einiger Entfernung von der Stelle des Objectes anstösst.

durch die Richtungslinien bestimmt werden, die man vom Kreuzungspunkte o nach den Endpunkten a und b des Objectes zieht. Bei eingeschobener Linse wird der Gesichtswinkel durch die Richtungslinien oa'' und ob'' bestimmt, welche nach den beiden Endpunkten des scheinbaren Bildes $a''b''$ gezogen werden. Nun ist aber offenbar der Winkel $a''ob''$ grösser als der Winkel aob, mit anderen Worten also, die Linse macht den Gesichtswinkel, also auch das Netzhautbildchen, grösser *).

---

*) Da sich meines Wissens nirgends eine genaue Theorie der einfachen Linse oder der Lupe findet, so wird folgende mathematische Entwickelung, die ich meinem Collegen van Rees verdanke, vielen Lesern erwünscht sein. Mit Bezug auf die in Fig. 50 vorkommenden Buchstaben ist in der Linie



die Bezifferung so gewählt, dass c' die Netzhaut, o den Kreuzungspunkt, R den optischen Mittelpunkt der Lupe, c den Ort des Objectes, c'' jenen des scheinbaren Bildes bezeichnet. Ist dann ferner

d der Durchmesser des Objectes,
d'' » » » scheinbaren Bildes,
d' » » » Netzhautbildchens,
$a = c''o$ die mittlere Sehweite, vom Kreuzungspunkte an gerechnet,
$b = Ro$ die Entfernung der Lupe vom Kreuzungspunkte,
$c = c'o$ die Entfernung der Netzhaut vom Kreuzungspunkte,
p die Brennweite der Lupe, so haben wir

$$d'' : d = c''R : cR.$$

Nach einer bekannten Formel ist aber $cR = \frac{p \cdot c''R}{c''R + p}$, und so erhalten wir statt der vorigen Gleichung

$$d'' : d = 1 : \frac{p}{c''R + p},$$

oder, da $c''R = a - b$ ist,

$$d'' : d = 1 : \frac{p}{a - b + p},$$

mithin
$$d'' = \frac{a - b + p}{p} \cdot d$$

Da ferner die Richtungslinien $a''oa'$ und $b''ob'$ (Fig. 50), wodurch die Grösse des Netzhautbildchens bestimmt wird, in o sich kreuzen, so haben wir

$$d' : d'' = oc' : oc'',$$
$$= c : a$$

also
$$d' = \frac{cd''}{a}$$
$$= \frac{a - b + p}{a} \cdot \frac{cd}{p}$$
$$= \left(1 + \frac{p - b}{a}\right) \cdot \frac{cd}{p}$$

Bei dieser Bestimmung des Durchmessers des Netzhautbildchens sind b, c, d, p gegebene Grössen, die nur von den Maassen des Auges, sowie von der Lage und vom Focus der Lupe abhängig sind, an denen daher auch die Kurzsichtigkeit oder Fernsichtigkeit des Auges nichts ändert. Nur auf die mittlere Sehweite a, d. h. auf die Entfernung des deutlichen Sehens, üben diese einen

Das scheinbare Bild kann aber nicht in einer geraden Ebene liegen, 110
weil die Objectpunkte *a*, *b* u. s. w., welche ausserhalb der optischen Axe sich befinden, vom Mittelpunkte der Linse entfernter sind, als der Punkt *c*, wo diese Axe das Object schneidet. Befindet sich nun die Mitte des Objectes in der passenden Entfernung von der Linse, dass die davon ausgehenden Lichtstrahlen ihren Vereinigungspunkt gerade auf der Netzhaut haben und dort ein scharfes Bild erzeugen, dann liegen die Enden *a* und *b* des Objectes nicht in der entsprechenden Entfernung, sondern sie sind weiter davon abstehend, weshalb ihre Vereinigungspunkte nicht auf die Netzhaut, sondern vor diese fallen. Demnach kommen divergirende Strahlen auf die Netzhaut, wie es in der Figur angegeben ist. Dort entstehen die Diffusionsbildchen, die etwas grösser ausfallen werden als die wahren Bildchen, die man auch von den Enden des Objectes erhalten kann, wenn man dasselbe der Linse etwas nähert, obwohl nicht ganz so scharf, wie vom Mitteltheile des Objectes. Da nun aber in diesem Falle die Mitte des Objectes der Linse zu sehr genähert ist, so dass der Vereinigungspunkt der Axenstrahlen hinter die Netzhaut fallen würde, so treffen auf die Netzhaut convergirende Strahlen und erzeugen ein Diffusionsbildchen.

Dass das scheinbare Bild gekrümmt sein muss, ergiebt sich daraus, dass die Strahlen, welche von der Mitte *c* des Objectes ausgehen, nach dem Durchtritte durch die Linse stärker divergiren (§. 39) als jene, welche von den Enden *a* und *b* kommen, weil diese letzteren sich entfernter vom optischen Mittelpunkte befinden. Die Verlängerungen der gebrochenen mittleren Strahlen werden daher auf der entgegengesetzten Seite näher der Linse einander treffen, nämlich in *h*, als jene der Randstrahlen, deren Vereinigungspunkte in a'' und b'' befindlich sind. Man sieht zu-

---

Einfluss. Um zu erforschen, wie dieser Einfluss sich äussert, wollen wir drei Fälle unterscheiden.

1) $p = b$, d. h. die Brennweite der Lupe ist gleich der Entfernung der Lupe vom Kreuzungspunkte. Dann ist $d' = \frac{c\,d}{p}$. Der Einfluss der Kurzsichtigkeit oder Fernsichtigkeit verschwindet in diesem Falle gänzlich, das Netzhautbildchen ist bei Myopen und Presbyopen gleich gross.

2) p ist grösser als b. Der Bruch $\frac{p-b}{a}$, also auch d' wird um so grösser sein, je kleiner der Nenner a ist. In diesem Falle ist also das Netzhautbildchen beim Kurzsichtigen grösser als beim Fernsichtigen.

3) p ist kleiner als b. Der Bruch $\frac{p-b}{a}$ wird hier negativ, d' also wird um so kleiner, je kleiner a ist. Demnach ist hier das Netzhautbildchen beim Kurzsichtigen kleiner als beim Fernsichtigen.

Man sieht leicht ein, dass der letztgenannte Fall der gewöhnliche ist, ja sogar der allein mögliche bei stark vergrössernden Lupen, deren Brennweite p weniger als 10^{mm} beträgt, während Ro oder b stets grösser ist, als der Abstand von der Hornhaut und vom Kreuzungskunkte, also mehr als 10^{mm} beträgt.

gleich, dass die Krümmung des scheinbaren Bildes entgegengesetzt ist, wie von einem wahren Bilde (§. 43).

Man kann also wohl der Reihe nach die verschiedenen Theile eines in einer geraden Ebene gelegenen Objectes durch eine Linse scharf wahrnehmen, nicht aber zu gleicher Zeit; und nicht allein erscheinen die verschiedenen Theile des Objectes mit ungleicher Deutlichkeit, auch die Gestalt des scheinbaren Bildes stimmt nicht vollständig mit jener des Objectes überein. Am deutlichsten tritt dies hervor, wenn man ein Netz oder eine Gaze betrachtet, die aus viereckigen Räumen oder Maschen zusammengesetzt ist. Bringt man dessen Mitte in eine solche Entfernung von der Linse, dass sie am schärfsten wahrgenommen wird, so sieht man statt der rechtwinkligen Maschen, wie sie in Fig. 51 dargestellt sind, das in Fig. 52 abgebildete Netz, dessen Maschen nur in der

Fig. 51.

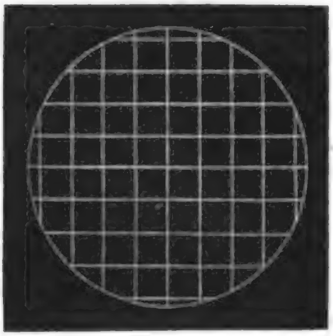
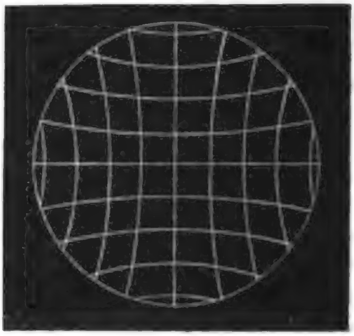
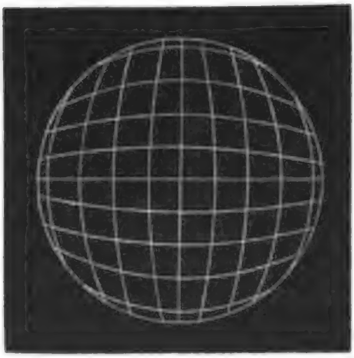


Fig. 52.



Mitte nahezu quadratisch sind, nach der Peripherie des Feldes zu aber immer mehr und mehr verdreht werden, aber so, dass die Bogen der gekrümmten Linien nach einwärts sehen, mithin die entgegengesetzte Richtung haben, als in dem nämlichen Netze, wenn dasselbe wie in Fig. 53 als Luftbild gesehen wird.

Fig. 53.



Ist dagegen die Fläche, worin das Object befindlich ist, dergestalt gebogen, dass alle Punkte des letzteren sich in jener Entfernung vom optischen Mittelpunkte der Linse befinden, welche erforderlich ist, damit die Vereinigungspunkte aller Strahlen gerade auf die Netzhaut fallen, dann wird man die gesammte Oberfläche des Objectes zu gleicher Zeit gleich scharf wahrnehmen. Man bezeichnet dies mit dem Namen des

geraden Gesichtsfeldes. Bedient man sich einfacher Linsen, so kann ein solches gerades Gesichtsfeld natürlich nur selten auf vollkommene Weise erlangt werden, weil die Objecte fast immer in einer geraden Ebene sich befinden. Da indessen das Gesichtsfeld hier meistens klein ist, und nur jener Theil des Bildes, der die geringste Krümmung hat, auf der Netzhaut sich ausdrückt, so stört diese Unvollkommenheit nicht gerade sehr bedeutend. Uebrigens werden wir gleich sehen, dass es Mittel giebt, das einfache Mikroskop auch in dieser Beziehung zu verbessern.

Nach dem, was weiter oben (§. 39) über den verschiedenen Gang 111
der durch eine Sammellinse gebrochenen Strahlen mitgetheilt wurde, je nachdem das Object im Hauptbrennpunkte, oder vor oder hinter demselben befindlich ist, fällt es nun nicht schwer, die Stelle zu bestimmen, wo ein Object sich befinden muss, damit seine Strahlen nach dem Durchtritte durch die Linse die bestimmte Richtung annehmen, welche nöthig ist, damit ihre Vereinigungspunkte auf die Netzhaut treffen. Für verschiedene Augen muss aber nothwendiger Weise hier eine Verschiedenheit sich geltend machen, da die Entfernung, in welcher man gewöhnlich deutlich sieht, die also dem gewöhnlichen Accommodationszustande des Auges entspricht, für Jedermann eine andere ist. Bei einem Fernsichtigen, dessen mittlere Sehweite z. B. 40 Centimeter ist, werden die ins Auge eintretenden Strahlen auffallend weniger divergirend werden müssen als bei einem anderen, der kurzsichtig ist und für gewöhnlich auf 10 Centimeter Entfernung scharf und deutlich sieht. Bei beiden wird das Object zwischen dem Hauptbrennpunkte und der Linse liegen müssen, der erstere indessen wird dasselbe dem Hauptbrennpunkte näher bringen müssen als der letztere. Im Allgemeinen gilt als Regel, je fernsichtiger Jemand ist, um so mehr muss das Object dem Brennpunkte der Linse genähert sein, und wenn die Entfernung des deutlichen Sehens eine unendlich grosse wäre, so dass das Auge parallel auffallende Strahlen am besten sähe, dann müsste das Object gerade in den Brennpunkt kommen. Dies kommt aber nur äusserst selten vor und keineswegs als die Regel, wie von manchen Autoren mit Unrecht angegeben worden ist.

Aus allem bisher Angeführten ergiebt sich, dass die durch eine 112
Linse erreichte Vergrösserung niemals eine absolute ist, sondern stets nur eine relative, da sie bedingt ist von dem Auge, welches durch die Linse sieht.

Wer gewohnt ist, alles, was er deutlich sehen will, 10 Centimeter vom Auge zu halten, ist auch daran gewöhnt, alle dergleichen Objecte viermal grösser zu sehen, als ein anderer, der die Dinge am liebsten 40 Centimeter vom Auge hält. Die mittlere Sehweite des Auges ist es also, die bei der Berechnung, wie Mikroskope vergrössern, jedesmal zu Grunde gelegt werden muss. Streng genommen sollte die Entfernung des Nähepunktes zu dieser Bestimmung genommen werden, weil bis zu diesem hin das Auge vollkommen im Stande ist, durch blosses Accommodationsvermögen die Bilder mit Schärfe auf die Netzhaut zu bringen; da indes-

sen der Zustand, worin das Auge alsdann sich befindet, stets ein gezwungener und ungewohnter ist, so erscheint es zweckmässiger, die Vergrösserung für jene mittlere Sehweite zu berechnen, welche dem gewöhnlichen Zustande des Auges beim Sehen am meisten entspricht. Dass aber diese auch sehr verschieden ist, weiss Jedermann. Da nun diese Verschiedenheit auch von Einfluss ist auf den Ort, welchen das Object im Verhältniss zur Linse einnimmt, so ergiebt sich, dass die von vielen gegebene Vorschrift, man solle, um die Vergrösserung aufzufinden, die mittlere Sehweite des Auges durch die Brennweite der Linse theilen, nicht ganz genau sein kann. Dies ergiebt sich schon daraus, weil man bei diesem Verfahren zu der durchaus falschen Folgerung kommen würde, Linsen, deren Brennweite grösser ist als die mittlere Sehweite, wirkten nicht vergrössernd, sondern verkleinernd. Ein genaues Resultat erhält man aber, wenn man beiderlei Entfernungen zusammenzählt und die Summe durch die Brennweite dividirt.

Ein paar Beispiele mögen zur Erläuterung dienen. Für *A*, dessen mittlere Sehweite $= 162^{mm}$ gefunden wurde (§. 67), giebt eine Linse von 10^{mm} Brennweite eine Vergrösserung von $\frac{172}{10}$ oder 17,2. Für *B* dagegen, dessen mittlere Sehweite $= 372^{mm}$ gefunden wurde (§. 67), vergrössert die nämliche Linse $\frac{382}{10}$ oder 38,2mal.

Berechnet man die Grösse der Netzhautbildchen für Augen mit ungleicher mittlerer Sehweite, so ergiebt sich hieraus, dass auch das absolute Maass der Vergrösserung durch eine und dieselbe Linse verschieden ausfallen kann. Gesetzt, die Grösse des Objectes wäre 1^{mm}, die Entfernung des Kreuzungspunktes von der Hornhaut betrüge 10^{mm} und von der Netzhaut 14^{mm}, dann wird das Netzhautbildchen im Auge des kurzsichtigen *A* $1{,}384^{mm}$ und in jenem des fernsichtigen *B* $1{,}393^{mm}$ gross sein.

113 Wenn sich das Object nicht in dem Brennpunkte befindet, sondern diesseits desselben, so muss die Brennweite um eine bestimmte Grösse verkleinert werden, wenn man die wahre Entfernung des Objectes von der Linse finden will. Man findet dieselbe, wenn man das Quadrat der Brennweite mit der Summe der mittleren Sehweite und der Brennweite dividirt. In den eben angeführten Beispielen ist also die Entfernung für $A = 10 - \frac{100}{172} = 9{,}42^{mm}$, für $B = 10 - \frac{100}{382} = 9{,}74^{mm}$. Das Object ist also bei *B* $0{,}32^{mm}$ weiter von der Linse, oder mit anderen Worten vom Auge entfernt als bei *A* *).

*) Mathematisch ausgedrückt ist die Vergrösserung $m = \frac{v + p}{p}$ oder, was das Nämliche ist, $\frac{v}{p} + 1$, die Entfernung des Objectes von der Linse aber ist $= p - \frac{p^2}{v + p}$, wo v die mittlere Sehweite und p die Brennweite bezeichnet.

Die vergrössernde Kraft einer Linse lässt sich, wie wir sahen, leicht berechnen, wenn man ihre Brennweite kennt. Nach dem oben Angegebenen (§. 38) lässt sich diese Brennweite berechnen, wenn das Brechungsvermögen des Mediums, woraus die Linse besteht, und wenn die Krümmung ihrer Oberfläche bekannt ist. Bei Linsen indessen, wie sie gewöhnlich in Mikroskopen angewendet werden, ist es nicht möglich, die Form mit hinreichender Genauigkeit zu bestimmen, dass sie der Berechnung zu Grunde gelegt werden kann. Hier muss also ein anderes Verfahren eingeschlagen werden. In Fällen, wo keine vollkommene Genauigkeit erforderlich ist und wo die Brennweite noch 1 Centimeter oder mehr beträgt, kann man sich damit begnügen, das Sonnenbild durch die Linse auf einen Schirm auffallen zu lassen und die Entfernung zu messen, bei welcher dieses Bildchen am kleinsten und am schärfsten sich darstellt. Man addirt zu dieser Entfernung noch jene von der Linsenoberfläche bis zum optischen Mittelpunkte, bei biconvexen Linsen mit gleichen Krümmungen also die halbe Dicke der Linse, und die so erhaltene Entfernung kann man als die wahre Brennweite betrachten, weil die Sonnenstrahlen nahezu parallel sind. 114

Statt der Sonne kann man auch jeden anderen leuchtenden Körper, z. B. die Flamme einer Kerze, benutzen. Misst man die Entfernung der Linse vom Bilde sowohl wie von der Flamme, multiplicirt die erhaltenen Werthe mit einander und dividirt das Product durch die Summe beider, so ist der erhaltene Quotient die gesuchte Brennweite für parallele Strahlen. Ist also a die Entfernung von der Linse bis zum leuchtenden Objecte, b die Entfernung von der Linse bis zum Bilde, dann ist die Brennweite $p = \frac{ab}{a + b}$.

Ist die Brennweite sehr verkürzt, dann reichen die erwähnten Methoden nicht mehr aus und man muss sich dann auf andere Weise zu helfen suchen. Goring (*Micrographia, containing practical essays etc. by C. R. Goring and Andrew Pritchard.* 1837, p. 35) hat sich eines Verfahrens bedient, welches auch durch Mohl (Mikrographie oder Anleitung zur Kenntniss und zum Gebrauche des Mikroskopes, 1846, S. 15) anempfohlen worden ist. Die Linse nämlich, deren Brennweite bestimmt werden soll, benutzt man als Ocular eines Teleskops, und mit einem Ramsden-schen Dynameter misst man die stattfindende Vergrösserung. Zuerst bestimmt man die Brennweite des Objectivglases oder des Spiegels, zu welchem Ende man, um den Brennpunkt für parallele Strahlen zu finden, das Bild der Sonne auffangen kann. Dividirt man dann die Brennweite des Objectivglases mit der Vergrösserung, welche das Dynameter angiebt, so ist der Quotient die gesuchte Brennweite der Linse, welche als Ocular eingesetzt war. Hätte man z. B. die Brennweite des Objectivglases oder des Spiegels = 2,5 Meter gefunden, und der Rahmen des davor befindlichen Dynameters hätte eine Oeffnung von 81,6^{mm}, das mit dem Dynameter gemessene Bild aber hätte 1,55^{mm} Durchmesser, dann vergrössert 115

das Fernrohr $\frac{81,6}{1,55} = 52,6$mal, und die als Ocular gebrauchte Linse hat $\frac{2500}{52,6} = 47,5^{mm}$ Brennweite.

Diese Methode muss nothwendiger Weise sehr genaue Resultate geben. Indessen passt sie nicht mehr bei Linsen mit sehr kurzer Brennweite, die dem zu Folge auch nur eine kleine Oeffnung haben; denn diese lassen zu wenig Licht durch, als dass sie noch als Oculare benutzt werden könnten. Hat man aber für Eine Linse die Brennweite mit grosser Genauigkeit bestimmt, dann kann diese Bestimmung dazu benutzt werden, die Brennweite anderer Linsen zu finden. Man gebraucht nämlich jene Linse, deren Brennweite gefunden worden ist, als Objectivglas eines zusammengesetzten Mikroskops, in dessen Ocular ein Mikrometer eingefügt ist. Durch dieses Mikroskop betrachtet man nun ein anderes Mikrometer und untersucht, wie viele Maasstheile des ersten Mikrometers auf einen Maasstheil des letzteren kommen. Oder man lässt auch das Mikrometer im Ocular weg und zählt blos, wie viele Maasstheile des als Object benutzten Mikrometers im Gesichtsfelde des Mikroskops liegen. Gebraucht man nun eine andere Linse, deren Brennweite bestimmt werden soll, als Objectivglas in dem nämlichen Mikroskope (wobei natürlich Sorge getragen werden muss, dass die Entfernung des optischen Mittelpunktes der Linse vom Ocular immer so viel möglich die nämliche ist) und zählt man alsdann ab, wie viele Maasstheile des Objectmikrometers im Gesichtsfelde oder in einem Maasstheile des Ocularmikrometers enthalten sind, dann lässt sich hieraus mit Leichtigkeit berechnen, wie die vergrössernde Kraft der beiden Linsen sich zu einander verhält. Angenommen z. B. mit der Linse, deren Brennweite bekannt ist, würden 50 Einheiten an dem nach einem bestimmten Maasse eingetheilten Mikrometer im Gesichtsfelde wahrgenommen, und mit drei anderen Linsen, die statt ihrer der Reihe nach als Objectivlinsen gebraucht werden, würden 100, 10 und 5 Einheiten in der Breite des Gesichtsfeldes wahrgenommen, dann verhält sich die vergrössernde Kraft der ersten Linse zu jener der drei anderen Linsen wie 50 : 100, 50 : 10 und 50 : 5 (0,5 : 1, 5 : 1, 10 : 1), d. h. von den drei geprüften Linsen vergrössert die erste nur halb so viel als die Probelinse, die zweite aber vergrössert fünfmal und die dritte zehnmal mehr. Da nun die vergrössernde Kraft in gleichem Verhältniss zunimmt, als die Brennweite abnimmt, so würden, wenn die Brennweite der Probelinse mit dem Dynameter $= 47,5^{mm}$ gefunden worden wäre, die Brennweiten der drei untersuchten Linsen 05^{mm}, $9,5^{mm}$ und $4,75^{mm}$ betragen.

116 Es giebt aber noch einen anderen Weg, die Brennweite so kleiner Linsen zu ermitteln, der eben so genaue Resultate liefert als die Anwendung des Dynameters und dabei den Vortheil gewährt, dass er sich eben so gut bei Linsen mit sehr kurzer Brennweite benutzen lässt, wie bei jenen mit längerer Brennweite. Dazu ist es nöthig, dass man mittelst der

Linse, deren Brennweite bestimmt werden soll, das Bild eines als Object benutzten Mikrometers auf einem Schirme auffängt, der sich in einer bekannten Entfernung davon befindet. Am besten benutzt man dazu das später zu beschreibende tragbare Sonnenmikroskop, oder auch sonst ein gewöhnliches Sonnenmikroskop. Wer übrigens keins von beiden besitzt, der kann auch das Rohr eines gewöhnlichen zusammengesetzten Mikroskopes nehmen, aus dem das Ocular weggenommen und durch ein mattes Glas ersetzt worden ist, und als dessen Objectiv die Linse dient, deren Brennweite bestimmt werden soll. Sind die Linsen nicht gar zu klein, so kann man zur Beleuchtung auch die Hydrooxygengasflamme oder Kalk benutzen, ja bei grösseren Linsen selbst die Flamme einer gewöhnlichen Argand'schen Lampe. Hat man ein ganz scharfes Bild des Mikrometers auf dem Schirme, so misst man die Grösse der Theilungseinheiten und daraus erkennt man dann unmittelbar die Vergrösserung, welche durch die Linse bei dieser Entfernung zu Stande kommt. Um nun hieraus die Brennweite zu berechnen, muss man zunächst die Entfernung des Objectes, hier also des Mikrometers von der Linse kennen. Diese wird dadurch gefunden, dass man den bekannten Durchmesser des Objectes mit der Entfernung zwischen Bild und Linse multiplicirt und das Product mit dem Durchmesser des Bildes dividirt.

Ein Object z. B. mit $0{,}5^{mm}$ Durchmesser soll auf einem Schirme, der in 250^{mm} Entfernung aufgestellt ist, ein Bild von 110^{mm} Grösse erzeugen, dann ist der gesuchte Abstand des Objectes von der Linse $= \frac{250 \,.\, 0{,}5}{110} = 1{,}136^{mm}$. Diese Entfernung ist indessen nicht die wahre Brennweite der Linse, sondern etwas grösser; denn wenn ein Gegenstand ein Bild hervorbringen soll, so muss er sich ausserhalb des Hauptbrennpunktes der Linse befinden (§. 42). Um aus der gefundenen Entfernung die wahre Brennweite zu berechnen, multiplicirt man die Entfernung des Bildes von der Linse mit der Entfernung des Objectes von der Linse, und dividirt das Product durch die Summe der beiden Entfernungen. Darnach wäre die Brennweite der Linse in dem angeführten Falle $= \frac{250 \,.\, 1{,}136}{251{,}136} = 1{,}131^{mm}$. Der Unterschied zwischen dem Abstande des Objectes von der Linse und der wahren Brennweite ist aber so ausnehmend gering (hier nur $0{,}005^{mm}$), dass man ihn hier ganz vernachlässigen kann. Für die Bestimmung der Brennweite stark vergrössernder Linsen genügt es vollkommen, wenn man bei der Berechnung den erstern Abstand zu Grunde legt *).

*) Ist der Durchmesser des Objectes $= h$, jener des Bildes $= d$, die Entfernung des Bildes vom Mittelpunkte der Linse $= b$, und die Entfernung des Objectes vom Mittelpunkte der Linse $= a$, dann ist $a = \frac{bh}{d}$, und die wahre Brennweite $p = \frac{ab}{a + b}$.

Kommt es blos darauf an, die Vergrösserung der Linse in einem einfachen Mikroskope ausfindig zu machen und wird dabei keine gar zu grosse Genauigkeit erfordert, so genügt es, die Grösse des Bildes auf dem Schirme für jene Entfernung, die man als die normale mittlere Sehweite annimmt, zu messen, z. B. für 25 Centimeter oder für irgend eine andere Entfernung, die man bei Berechnung der Vergrösserungen zu Grunde zu legen vorzieht.

117 Kommt aber der Schirm auch genau in die Entfernung, die man dem Augenabstande entsprechend annimmt, für welchen alle Vergrösserungen bestimmt werden sollen, so darf man nicht vergessen, dass die dafür gefundene Zahl nur annäherungsweise genau ist. Ein Object, das man durch die Linse betrachtet, muss sich innerhalb des Brennpunktes befinden, dagegen muss das Object, wenn in einem Sonnenmikroskope oder in einem anderen Mikroskope ein Bild davon entstehen soll, stets etwas ausserhalb des Brennpunktes zu stehen kommen. Daher rührt es, dass der Werth der auf letzterem Wege erhaltenen Vergrösserung immer etwas zu niedrig ausfällt. Ich will dies auch wieder durch ein Beispiel erläutern. Wir sahen so eben, dass ein Object, welches 0,5^{mm} Durchmesser hat, mit einer Linse von 1,131^{mm} Brennweite bei einer Entfernung von 25 Centimeter ein Bild erzeugt, das 110^{mm} Durchmesser hat. Es vergrössert also diese Linse, wenn sie in einem Bildmikroskope gebraucht wird, $\frac{110}{0,5} = 220$mal. Berechnet man aber nach der früher (§. 112) besprochenen Methode die vergrössernde Kraft dieser nämlichen Linse, wenn sie zu einem einfachen Mikroskope benutzt wird, so erhält man für eine mittlere Sehweite von 25 Centimeter $\frac{251,131}{1,131}$ oder eine 222malige Vergrösserung. Man ersieht hieraus, dass, wo es auf grosse Genauigkeit ankommt, wenn man z. B. das Vergrösserungsvermögen zum Behufe von Messungen kennen muss, man sich nicht lediglich auf das gefundene Verhältniss zwischen den Durchmessern des Objectes und des Bildes verlassen darf.

118 Das einfachste Verfahren, um die vergrössernde Kraft von Linsen sowohl als von Mikroskopen im Allgemeinen (Bildmikroskope ausgenommen) zu bestimmen, wodurch bei einiger Uebung und Geduld sehr genaue Resultate erhalten werden können, besteht darin, dass man mit Einem Auge durch das Mikroskop nach einem Gegenstande sieht, dessen Grösse bekannt ist, z. B. auf die Theilungen eines Glasmikrometers, und mit dem anderen Auge auf einen zur Seite des Mikroskops in der Entfernung des deutlichen Sehens befindlichen Maassstab oder auf einen Cirkel, womit man den Durchmesser des scheinbaren Bildes nimmt. Später werde ich auf dieses Verfahren zurückkommen und dann zugleich die Vorsichtsmaassregeln angeben, die dabei zu beobachten sind.

119 Hat man durch dieses oder ein anderes Verfahren das Vergrösserungsvermögen einer Linse für eine bestimmte mittlere Sehweite gefun-

den, so lässt sich hieraus wieder seinerseits die Brennweite berechnen. Es ist nämlich die Brennweite $p = \frac{v}{m-1}$, wo v die mittlere Sehweite und m die gefundene Vergrösserung bezeichnet, d. h. sie wird durch den Quotienten ausgedrückt, den die mittlere Sehweite zum Dividenden, die um eine Einheit verminderte Vergrösserung zum Divisor hat. So würde z. B. eine Linse, die bei einer Deutlichkeitsentfernung von 162^{mm} 17,2 Male vergrössert, eine Brennweite von $\frac{162}{17{,}2-1} = 10^{mm}$ haben.

Bei alle dem, was bisher über die Vergrösserung durch Linsen mitgetheilt wurde, ist der Fall vorausgesetzt worden, der in Wirklichkeit niemals in Vollständigkeit eintritt, dass die Linse ganz ans Auge gehalten wird und dass dieselbe ausserdem auch keine Dicke besitzt. Dass der Abstand zwischen Auge und Linse auf die Vergrösserung von Einfluss ist, ergiebt sich schon aus dem früher Mitgetheilten, wornach die Vergrösserung zum Theil im Auge selbst begründet ist und mithin die Vergrösserung beim Gebrauche der nämlichen Linse verschiedenartig ausfallen muss, sobald sich die Entfernung des Auges vom Objecte abändert. Man braucht nur Fig. 50 (S. 93) zu betrachten, um zu sehen, dass der Gesichtswinkel $a''ob''$ grösser werden würde, wenn die Linse AB zugleich mit dem Objecte näher dem Auge gebracht würde. Uebrigens aber kann man sich von der Richtigkeit der Sache auf sehr einfache Weise überzeugen. 120

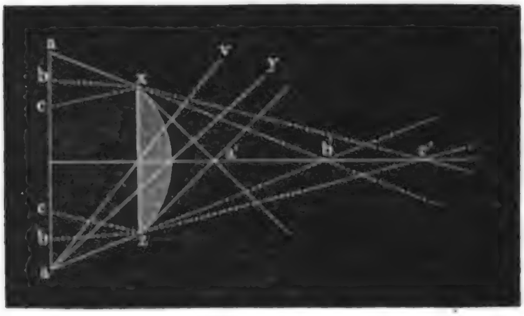
Am besten nimmt man dazu eine Linse, die 2 bis 3 Centimeter Brennweite hat. Man hält eine solche Linse dicht vor das Auge und blickt durch sie auf die Buchstaben eines Buches, welches in solcher Entfernung gehalten wird, dass die Buchstaben deutlich und scharf hervortreten. Entfernt man dann das Auge, während die Linse immer gleich weit vom Buche bleibt, so werden die Buchstaben scheinbar grösser, weil ein Diffusionsbild auf der Netzhaut entsteht, dem das frühere scharfe Bild an Grösse nachsteht. Sollen bei dieser grösseren Entfernung des Auges die Buchstaben wiederum gleich scharf und deutlich hervortreten wie früher, so muss man die Linse dem Buche etwas näher bringen; die Vergrösserung wird dann nicht mehr so bedeutend sein wie früher.

Hieraus folgt nun, dass es nicht ohne Einfluss auf die vergrössernde Kraft einer Linse ist, wie dieselbe eingefasst wurde, und dass man als allgemeine Regel aufstellen darf, die mechanische Einrichtung zum Einschliessen einer für ein einfaches Mikroskop bestimmten Linse müsse der Art sein, dass die möglichste Annäherung der Linse ans Auge gestattet wird. Wenn daher in allen jenen Fällen, wo die Linse nur die Bestimmung hat, ein Bild des Objectes zu liefern, also in zusammengesetzten dioptrischen Mikroskopen, in Sonnenmikroskopen u. s. w., es ganz einerlei ist, ob die Röhren, in welche Linsen gefasst werden, kurz oder lang sind, wenn nur ihre Ränder den Strahlen nicht den Weg abschneiden, so ist

es dagegen bei den Linsen der einfachen Mikroskope ein dringendes Erforderniss, dass ihre Röhren so abgeplattet als möglich und etwas ausgehöhlt sind. In der That sieht man auch bei allen neueren einfachen Mikroskopen diese Form verwendet.

121 Aber nicht blos der Vergrösserung halber, sondern hauptsächlich auch aus einem anderen Grunde verdient diese Form den Vorzug. Je näher nämlich an die Linse das Auge gehalten wird, um so grösser ist das Gesichtsfeld. Wird *aa* (Fig. 54) durch die Linse *xz* betrachtet, während das Auge in *a'* befindlich ist, so wird das Object *aa* vollständig übersehen, denn die Strahlen *ax* und *az*, welche den Endpunkten desselben entsprechen, werden nach dem Durchtritte durch die Linse nach *a'* gebrochen und erreichen also das hier befindliche Auge.

Fig. 54.



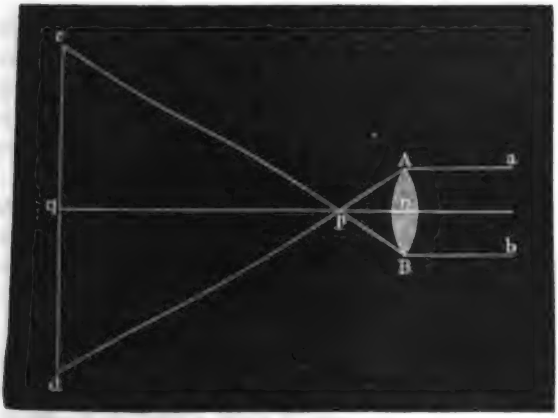
Entfernt sich dieses weiter von der Linse nach *b'*, so kann es die beiden Enden des Objectes *aa* nicht mehr wahrnehmen, denn selbst die äussersten von diesen Punkten ausgehenden Strahlen, welche noch auf die Linse treffen, gehen in der Richtung *xa'* und *za'* links und rechts am Auge vorbei; die übrigen Strahlen aber, welche von den nämlichen Punkten *a* ausgehen, erreichen das Auge noch weniger, da sie parallel mit *za'* nach *ay* und *av* gebrochen werden. Das in *b'* befindliche Auge sieht nur noch den Abschnitt *bb* vom Objecte *aa*, denn die Strahlen *xb'* und *zb'*, welche den Punkten *bb* entsprechen, sind die am meisten von der Mitte entfernten, die das Auge noch erreichen können. Alle zwischen *a* und *b* liegenden Punkte sind für das Auge unsichtbar. Das in *c'* befindliche Auge endlich erblickt nur jenen zwischen *c* und *c* befindlichen Abschnitt des Objectes u. s. w.

Hieraus ergiebt sich nun, dass die durch eine Linse sichtbare Fläche oder, mit anderen Worten, das Gesichtsfeld um so grösser sich darstellt, je kürzer die Entfernung zwischen Auge und Linse ist, und am grössten dann, wenn beide einander unmittelbar berühren.

122 Die Grösse des Gesichtsfeldes ist aber ausserdem noch von der Oeffnung der Linse abhängig. Diese zu bestimmen, genügt es bei Linsen, die noch einen mässigen Durchmesser besitzen, diesen Durchmesser der Linse oder den Durchmesser ihres unbedeckten Theiles zu messen. Bei sehr kleinen Linsen muss dazu ein anderer Weg eingeschlagen werden. Am besten kommt man zum Ziele, wenn man parallele Lichtstrahlen, z. B. von der Sonne, und bei sehr kleinen Linsen concen-

trirtes paralleles Licht auf die Linse fallen lässt, wie a und b in Fig. 55. Diese werden sich hinter der Linse im Brennpunkte p kreuzen, und wenn dann in einiger Entfernung von der Linse ein Schirm aufgestellt wird, so entsteht auf diesem ein vergrössertes Bild der Linsenöffnung, oder eigentlich ein Diffusionsbild der Sonne. Wird der Schirm in der Entfernung pq vom Kreuzungspunkte gehalten, so hat man in cd den Durchmesser des vergrösserten Bildes. Der Versuch muss natürlich in einem dunkeln Raume angestellt werden.

Fig. 55.



Die Ränder des solchergestalt auf dem Schirme aufgefangenen Lichtkreises sind freilich nicht ganz scharf; ist indessen die Entfernung nicht zu gross, dann lässt sich der Durchmesser noch mit ziemlicher Genauigkeit feststellen. Aus der Figur ersieht man aber deutlich, dass dieser Durchmesser um so viel Male grösser ist denn jener der Linse, als die Brennweite op in der Distanz pq vom Brennpunkte bis zum Schirme enthalten ist. Hat man also vorher nach dem oben (§. 116) angegebenen Verfahren die Brennweite bestimmt, so lernt man durch eine einfache Berechnung den Durchmesser der Linsenöffnung kennen.

Die Grösse des Oeffnungswinkels, hier also ApB, lässt sich ebenfalls durch Berechnung leicht ausfindig machen *). Für praktische Zwecke, wenn es nicht auf die äusserste Genauigkeit ankommt, kann man sich damit begnügen, den gefundenen Durchmesser der Linse so wie deren Brennweite (oder, wenn beide sehr klein sind, Multipla derselben) auf ein Papier zu bringen und dann die Linien Ad und Bc durch den Brennpunkt p zu ziehen. Der Winkel cpd, der dem Winkel ApB gleich ist, kann dann mit einem Gradbogen gemessen werden.

Beträgt z. B. die Brennweite der Linse 10^{mm}, die Entfernung vom Schirme 50^{mm}, der Durchmesser des Lichtkreises 44^{mm},

*) Ist der Oeffnungswinkel $= Q$, der Durchmesser der Linse $= d$, die Brennweite $= p$, die Entfernung von der Linse bis zum Schirme $= a$, der Durchmesser des erhaltenen Kreises endlich $= b$, dann ist

$$d = \frac{bp}{a-p} \text{ und } tang. \tfrac{1}{2} Q = \frac{d}{2p}.$$

dann ist der Durchmesser der Linse $\frac{44 \,.\, 10}{50 - 10}$ oder 11^{mm}. Trägt man diese Data auf genannte Weise aufs Papier über, so wird man einen Oeffnungswinkel von etwa 58^0 erhalten.

123 Neben der vergrössernden Kraft und dem Gesichtsfelde ist bei der Verwendung von Linsen zu einem einfachen Mikroskope noch auf einen anderen Umstand zu achten, nämlich auf das Maass der Lichtstärke oder der Helligkeit, welche die dadurch betrachteten Objecte besitzen, oder mit anderen Worten auf die Lichtmenge, welche durch die Linse zum Auge gelangt.

Beim gewöhnlichen Sehen hängt die Helligkeit eines Sehobjectes zunächst von dem Beleuchtungsgrade desselben ab, zweitens aber auch von der Oeffnung der Pupillen. Je mehr Strahlen nämlich von einem leuchtenden Punkte ins Auge gelangen können, um so heller erscheint derselbe. Erweitert sich die Pupille, so wird mehr Licht hindurchtreten, und da die Erweiterung in einer Ebene stattfindet und gleichmässig nach allen Richtungen, so nimmt die Lichtmenge im quadratischen Verhältniss des Pupillendurchmessers zu oder ab. Durch eine Pupille z. B. von 4^{mm} Durchmesser dringt viermal mehr Licht, als wenn dieselbe auf 2^{mm} Durchmesser verengt ist.

Das Nämliche gilt von Linsen, die zwischen dem Auge und einem Objecte befindlich sind. Bei so kleinen Linsen, wie die, wovon hier die Rede ist, kann man ohne erheblichen Irrthum annehmen, dass der Durchmesser der Linse gleich ist jenem des Strahlenbüschels, welches auf die Linse fällt, und hieraus folgt wieder, dass die Lichtstärken zweier Linsen sich wie die Quadrate ihrer Durchmesser verhalten.

Um nun einen Maassstab für die Erhellung der Objecte zu haben, welche durch eine solche Linse gesehen werden, vergleicht man damit die Erhellung der nämlichen Objecte beim Betrachten mit blossem Auge: nach dem Gesagten verhält sich die Erhellung eines mit blossem Auge betrachteten Objects zu dessen Erhellung, wenn es durch eine Linse vergrössert gesehen wird, wie das Quadrat des Pupillendurchmessers zum Quadrate des Linsendurchmessers. Ist der Linsendurchmesser gleich dem Pupillendurchmesser, dann ist die Erhellung des durch die Linse gesehenen Objectes, wenn man von dem geringen Verluste beim Durchgange durch die Linse selbst absieht, gleich der Erhellung des nämlichen Objectes beim Betrachten mit blossem Auge; in dem Maasse aber, als die Vergrösserung der Linse zunimmt, ihr Durchmesser oder ihre Oeffnung also abnimmt, vermindert sich auch die Erhellung in starkem Maasse. Zur Erläuterung diene folgende von Littrow (Dioptrik, S. 379) berechnete Tabelle, worin der Pupillendurchmesser zu 0,1 Par. Zoll (etwa $2{,}7^{mm}$) angenommen wird, der Durchmesser der Linsen aber für den Fall berechnet ist, wo beide Flächen so gekrümmt sind, dass die geringste sphärische Aberration eintritt. Die Vergrösserungen sind für

eine Sehweite von 8 Par. Zoll berechnet. Sie würden sich etwas anders herausstellen, wenn sie nach der im §. 112 angegebenen Methode berechnet wären und nicht einfach dadurch, dass man die Sehweite durch die Brennweite dividirt, wie es Littrow gethan hat.

Vergrösserung.	Brennweite in Pariser Zollen.	Durchmesser der Linsenöffnung in Pariser Zollen.	Grad der Erhellung.
8	1,000	0,100	1,000
10	0,800	0,080	0,800
20	0,400	0,040	0,400
40	0,200	0,020	0,200
60	0,133	0,013	0,133
80	0,100	0,010	0,100
100	0,080	0,008	0,080
120	0,060	0,006	0,060
140	0,057	0,006	0,057
160	0,050	0,005	0,050

Man ersieht hieraus, dass die Helligkeit gleichmässig mit der Brennweite abnimmt. Eine Linse, welche zwanzigmal stärker vergrössert, als eine andere, bewirkt auch eine zwanzigfache Abnahme der Lichtstärke des Objectes. Daraus ergiebt sich aber die Nothwendigkeit, dass man bei Anwendung kleiner Linsen die Lichtstärke der Objecte künstlich vermehren muss.

Uebrigens ist der Grad der Helligkeit auch nach der Form der Linsen ein verschiedener. Linsen von der besten Form und biconvexe Linsen mit gleicher Krümmung beider Oberflächen verhalten sich nach Littrow in Betreff der Helligkeit zu einander etwa wie 8 : 7, wenn die Länge der sphärischen Aberration bei beiden gleich ist.

Benutzt man Glaskugeln statt der Linsen, so wird man finden, dass bei gleicher Vergrösserung die Helligkeit bei den Glaskugeln etwas grösser ist. Dies ergiebt sich aus der Vergleichung der folgenden von Euler (Dioptrica, Cap. 1. Probl. 4) berechneten Tabelle mit der vorstehenden.

Vergrösserung.	Brennweite in Pariser Zollen.	Durchmesser der Kugel in Pariser Zollen.	Grad der Erhellung.
10	0,232	1,136	0,998
20	0,116	0,568	0,499
30	0,077	0,378	0,333
40	0,058	0,284	0,249
50	0,046	0,228	0,199
60	0,038	0,188	0,166

Wenn nun aber diese grössere Helligkeit den Glaskugeln einen Vorzug vor den Linsen zu geben scheint, so wird dieser Vortheil wiederum mehr als aufgewogen durch den Nachtheil, den ihre so kurze Brennweite und die damit zusammenhängende Kleinheit des Gesichtsfeldes (§. 41) mit sich führt. In früherer Zeit, wo das zusammengesetzte Mikroskop noch nicht die Stufe der Vollkommenheit erreicht hatte, auf der wir es jetzt finden, und auch späterhin, als gute aplanatische Mikroskope noch hoch im Preise standen, waren kleine stark vergrössernde Glaskügelchen, die gleich Linsen beim einfachen Mikroskope verwendet wurden, ganz passend, weil man dadurch eine Reihe von Vergrösserungen erhalten konnte, die weit über jene der geschliffenen Glaslinsen gehen. Gegenwärtig jedoch, wo man für eine verhältnissmässig kleine Summe ein gutes Mikroskop bekommen kann, wird es Niemand mehr einfallen, seine Zuflucht zu solchen Glaskügelchen zu nehmen, deren Benutzung viel zu beschwerlich ist, obwohl man durch dieselben, wenn sie gut gefertigt sind, sehr bestimmt und scharf beobachten kann. Ich will deshalb hier nichts über ihre Anfertigung erwähnen, und was sonst über sie mitzutheilen wäre, soll im dritten Buche seine Stelle finden.

124 Weiter oben sind mit der nöthigen Ausführlichkeit die beiden Hauptgebrechen der Linsen betrachtet worden, die sphärische Aberration und die chromatische Aberration, wobei zugleich der Mittel gedacht wurde, die zu ihrer Beseitigung dienen. Die chromatische Aberration ist beim Gebrauche der Linsen im einfachen Mikroskope weniger zu besorgen als die sphärische; auch übt sie auf die Helligkeit des Netzhautbildchens einen weit geringeren Einfluss, als wenn die nämlichen Linsen als Objective eines zusammengesetzten Mikroskopes benutzt werden. Für Lupen und einfache Mikroskope ist es daher von geringem Belange, ob achromatische Linsen benutzt werden, es müsste denn, wie es freilich immer der Fall ist, zugleich auch die sphärische Aberration durch die Vereinigung von Kron- und Flintglas verbessert werden.

Die sphärische Aberration lässt sich aber, wie früher (§§. 49 bis 52) angeführt wurde, noch auf mehrfache andere Weisen verbessern. Wir haben diese Verbesserungen hier kürzlich in ihrer Anwendung beim einfachen Mikroskope zu betrachten.

1) Die sphärische Aberration lässt sich auf ein Minimum reduciren, wenn den beiden Oberflächen der Linse ein passender Krümmungsgrad ertheilt wird. Bei Kronglas mit dem Brechungsindex 1,534 ist die sphärische Aberration, wie wir gesehen haben (§. 52), am schwächsten, wenn die Radien beider Oberflächen sich wie 1 : 8,6 zu einander verhalten, und mit der Zunahme des Brechungsindex wächst auch die Differenz dieses Verhältnisses. Da nun eine planconvexe Kronglaslinse in ihrer Gestalt einer Linse von der besten Form schon sehr nahe kommt, so folgt hieraus, dass solche Linsen immer den Vorzug verdienen vor jenen, die auf beiden Seiten gleichmässig gekrümmt sind. Ausserdem muss die weniger gekrümmte Fläche, bei planconvexen Linsen also die platte Oberfläche, dem Objecte zugekehrt sein.

2) Hat die Linse eine zu grosse Oeffnung, so muss diese verkleinert werden, weil die sphärische Aberration immer mehr zunimmt, je näher dem Linsenrande die Strahlen durchgehen. Dies lässt sich auf verschiedene Art erreichen. Das älteste und gebräuchlichste Verfahren besteht darin, dass man ein durchbohrtes Plättchen oder ein Diaphragma über der Linse anbringt, wodurch die Randstrahlen abgehalten werden. Das Diaphragma kann auch nach Wollaston zwischen zwei mit ihren platten Flächen einander zugekehrten planconvexen Linsen liegen (Fig. 56), die zusammen eine biconvexe Linse darstellen. Das nämliche Ziel würde erreicht werden, wenn man (Fig. 57) nach Brewser's Vorschlage in eine Glaskugel in der Richtung ihres grössten Umfanges eine tiefe ringförmige Grube schleift. Ferner sind hier die verschiedenen Arten von Cylinderlupen zu nennen, zu denen auch die Vogelaugenlinsen (Fig. 58) und die Stanhope'schen Lupen (Fig. 59) gehören, welche letzteren

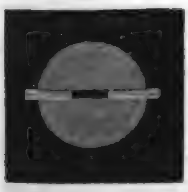
Fig. 56.


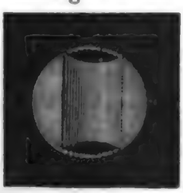
Fig. 57.


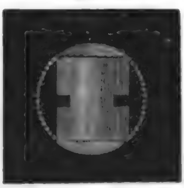
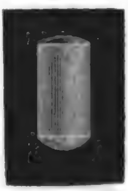
Fig. 58.


Fig. 59.


ausserdem noch so eingerichtet sind, dass der Brennpunkt der einen gewölbten Oberfläche auf die gegenüber befindliche Fläche fällt, deren Krümmung zugleich dazu dient, alle Theile des Gesichtsfeldes in gleiche Entfernung vom optischen Mittelpunkte zu bringen (§. 109).

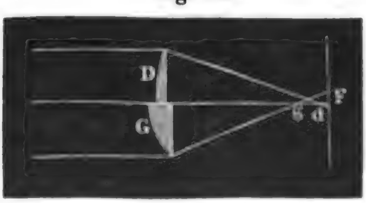
Alle diese Linsen haben, wie man sogleich beim Ansehen der Figuren entnimmt, den Zweck, die Randstrahlen nicht ins Auge gelangen zu lassen, was entweder durch ein zwischenliegendes Diaphragma erreicht

wird, oder dadurch, dass ein Theil der Kugel, wovon die Oberflächen der Linse Segmente darstellen, weggenommen wird. Später wird genauer über diese verschiedenen Linsen und deren relative Zweckmässigkeit gehandelt werden. Es genüge hier zu bemerken, dass bei allen wegen der starken biconvexen Gestalt die sphärische Aberration nur unvollkommen beseitigt werden kann, dass sie aber dafür den Vortheil eines ausgebreiteten Gesichtsfeldes bieten, weshalb auch die erste Sorte dieser Linsen von Wollaston den Namen der periskopischen erhalten hat.

3) Eines dritten Mittels, welches unter allen am meisten zum Ziele führen würde, wenn es praktisch sich anwenden liesse, sei hier nur im Vorbeigehen gedacht. Dieses Mittel ist darin gegeben, dass man den Linsen hyperbolische Krümmungen ertheilt statt der gewöhnlichen sphärisch gekrümmten Oberflächen. Bis jetzt ist es aber, ungeachtet mehrfacher Versuche, noch nicht gelungen, geschliffenen Linsen eine andere als die sphärische Form zu verschaffen, und ich würde diesen Punkt sogar ganz mit Stillschweigen übergangen haben, wenn es nicht durch einen glücklichen Zufall wirklich geschehen könnte, dass geschmolzene Glaskügelchen eine hyperbolische Krümmung bekommen. So wenigstens erscheint mir die Sache erklärlich, dass man unter einer grösseren Menge solcher Glaskügelchen immer einige antreffen wird, die durch Helligkeit und Schärfe der erzeugten Bilder geschliffene Linsen, deren vergrössernde Kraft gleich gross ist, auffallend übertreffen.

4) Indem man Linsen aus Substanzen anfertigt, die ein stärkeres Brechungsvermögen haben als Glas, kann man eine stärkere Vergrösserung erreichen bei gleichbleibender Aberration. Die Brennweite gewöhnlicher Glaslinsen verhält sich zu jener von Saphir-, Granat- und Diamantlinsen wie 1 : 0,68, 1 : 0,62 und 1 : 0,35 (§. 38). Da nun die vergrössernde Kraft in gleichem Maasse zunimmt, als die Brennweite sich verkürzt, so wird z. B. eine Diamantlinse fast dreimal so stark vergrössern, als eine Glaslinse von gleicher Gestalt und mit der nämlichen sphärischen Aberration. Der relative Werth einer Glaslinse und einer Diamantlinse wird durch Fig. 60 erläutert. *D* ist der halbe Durchmesser einer Diamantlinse, *G* der halbe Durchmesser einer Glaslinse. Der Hauptbrennpunkt beider Linsen liegt in *F*. Der Randstrahl der Diamantlinse schneidet die Axe in *d*, der Randstrahl der Glaslinse schneidet sie in *g*. Für die Diamantlinse ist also die Länge der Aberration *dF*, für die Glaslinse *gF*.

Fig. 60.



Dazu kommt noch, dass das Dispersionsvermögen des Diamanten jenem von Kronglas fast gleich kommt (§. 55). Deshalb ist bei einer Diamantlinse von gleicher Oeffnung und der nämlichen vergrössernden

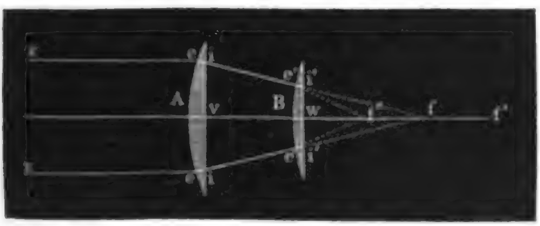
Kraft nicht allein die sphärische Aberration viel unbedeutender als bei einer Glaslinse, sondern eben so auch die chromatische Aberration.

Die nämlichen Vorzüge, wenngleich in minderem Maasse, besitzen auch die Linsen aus Granat, Saphir und anderen Edelsteinen. Sind nun aber auch diese Vorzüge solcher Linsen unverkennbar, so ist doch nicht anzunehmen, dass sie die grossen mit ihrer Anfertigung verbundenen Mühen aufwiegen und dass sie den hohen Preis belohnen dürften, den sie mehr noch wegen der schwierigen Herstellung als wegen der Kostbarkeit des Materials haben würden. Diese Schwierigkeiten rühren besonders davon her, dass jenen Edelsteinen (mit Ausnahme des Granats, bei dem jedoch die Farbe hinderlich ist) eine doppelte Brechung zukommt, und dass demnach nur solche daraus verfertigte Linsen brauchbar sind, deren Axe mit der Axe der doppelten Brechung zusammenfällt, eine Bedingung, die sich nur mit grosser Mühe auf vollkommene Weise erfüllen lässt. Da man nun jetzt am aplanatisch zusammengesetzten Mikroskope ein Instrument besitzt, das in allen den Fällen, wo Edelsteinlinsen wirkliche Vortheile würden bringen können, diesen Zweck wenigstens gleich gut erfüllt, so darf man die Bestrebungen, das einfache Mikroskop durch solche Linsen zu verbessern, bereits als dem Gebiete der Geschichte angehörig ansehen. Einige Besonderheiten darüber werden deshalb im letzten Buche Erwähnung finden.

5) Die Vergrösserung lässt sich auch noch verstärken, ohne dass die sphärische Aberration in gleichem Verhältnisse zunimmt, wenn man nicht eine einzelne Linse gebraucht, sondern zwei, drei oder mehr Linsen zu einem Systeme vereinigt, so dass sie zusammen einer stärker gekrümmten Linse entsprechen. Solche Vereinigungen führen den Namen Doublet (Doppellinse), Triplet u. s. w. Der Nutzen derselben ist zu entschieden, als dass wir nicht einige Augenblicke bei ihren vornehmlichsten Eigenschaften verweilen sollten.

Die verschiedenen Arten von Linsen können auf mehrfache Art mit 125
einander verbunden werden. Hier kommt nur der Fall in Betracht, dass zwei oder auch mehr Sammellinsen, welche die nämliche optische Axe mit einander gemein haben, in eine gegenseitige Entfernung von einander gebracht werden, die kleiner ist, als ihre Brennweite. Sind

Fig. 61.



A und *B* (Fig. 61) zwei Linsen, deren Hauptbrennpunkte in *f* und *f'* sich befinden und deren gegenseitige Entfernung *vw* kleiner ist als *vf*, so werden die parallel auffallenden Strahlen *ze ze* zunächst durch die erste Linse *A* convergirend gemacht, und sie würden sich in *f* vereinigen,

träfen sie nicht in den Richtungen *ie'* und *ie'* auf die zweite Linse *B*, wo sie bei *i'* noch mehr convergirend werden, so dass nun der Brennpunkt beider vereinigten Linsen in *f''* liegt.

Die Entfernung dieses Brennpunktes und die vergrössernde Kraft des Systems ist verschieden je nach der wechselseitigen Entfernung der Linsen. Am kleinsten ist die Brennweite, wenn beide Linsen einander unmittelbar berühren. Sind es zwei planconvexe Linsen, dann kommt ihre Vergrösserung jener einer biconvexen Linse gleich, deren beide Krümmungen den Krümmungen der nämlichen planconvexen Linsen entsprechen. Zwei einander ganz gleiche planconvexe Linsen, die mit einander verbunden werden, sei es durch Aneinanderlegen ihrer beiden ebenen Flächen oder dadurch, dass die gewölbte Fläche der einen an die obere Fläche der anderen kommt, haben nur eine halb so grosse Brennweite und wirken deshalb doppelt so stark vergrössernd, als jede Linse einzeln für sich.

Sind die Brennweiten verschieden, so wird die Brennweite des Systems für den Fall, wo die gegenseitige Entfernung der Linsen = 0 ist, gefunden werden, wenn man das Product der beiden Brennweiten mit ihrer Summe dividirt. Ein Doublet z. B. aus zwei dicht an einander liegenden Linsen bestehend, welche Brennweiten von 10 und 5^{mm} haben, wird eine Brennweite von $\frac{5 \cdot 10}{5+10} = 3{,}33^{mm}$ besitzen.

So lange die beiden Linsen einander unmittelbar berühren, ist es für ihre gemeinschaftliche Brennweite einerlei, in welcher relativen Stellung sie sich befinden, anders jedoch verhält es sich, sobald sie in einiger Entfernung von einander sind. In einem mikroskopischen Doublet heisst jene Linse, welche dem Objecte zugekehrt ist, die vordere, und die andere nennt man die hintere. Haben beide eine verschiedene Brennweite, dann ist es nicht gleichgültig, ob man die stärkste Linse zur vorderen oder zur hinteren wählt. Im Allgemeinen wird die gemeinschaftliche Brennweite gefunden, wenn man die Brennweite der vorderen Linse mit der Differenz zwischen der Brennweite der hinteren Linse und der Entfernung beider Linsen von einander multiplicirt, und dann das Product durch die Summe dieser Differenz und die Brennweite der vorderen Linse dividirt*). Rechnen wir die Brennweite der vorderen Linse = 5^{mm}, der hinteren Linse = 10^{mm}, ihre gegenseitige Entfernung aber = 3^{mm}, dann ist die Brennweite des Doublets $\frac{5 \cdot 7}{5+7} = 2{,}9^{mm}$. Wird aber die relative Stellung der beiden Linsen umgekehrt, so dass

---

*) Ist p = Brennweite der vorderen Linse, p' = Brennweite der hinteren Linse, d = Abstand der beiden Linsen von einander, dann ist die gemeinschaftliche Brennweite $a = \frac{p(p'-d)}{p+(p'-d)}$. Ist $d = 0$, dann wird $a = \frac{p\,p'}{p+p'}$, und ist $p = p'$, dann ist $a = \frac{1}{2}p$.

jene Linse die vordere wird, welche früher die hintere war, und es bleibt die wechselseitige Entfernung der Linsen unverändert, dann ist die Brennweite des Doublets $\frac{10 \cdot 2}{10+2} = 1,7^{mm}$.

Die Brennweite wird hierbei vom optischen Mittelpunkte der vorderen Linse an gerechnet. Wollte man nun aber die vergrössernde Kraft des Doublets nach diesen Ergebnissen berechnen, so würde man in einen grossen Irrthum gerathen; die dadurch gefundene Zahl der Vergrösserung würde viel zu hoch ausfallen und für die beiden relativen Stellungen der Linsen eine verschiedene sein. Man muss deshalb durch Berechnung die Brennweite einer äquivalenten einfachen Linse aufsuchen, d. h. einer Linse, die gleiche Vergrösserung mit dem Doublet besitzt. Diese findet man, wenn man das Product beider Brennweiten dividirt durch die Summe derselben, weniger ihre wechselseitige Entfernung*). Im gegebenen Falle würde das Doublet einer Linse mit einer Brennweite von $\frac{5 \cdot 10}{5+10-3} = 4,17^{mm}$ entsprechen, was bei einer mittleren Sehweite von 25 Centimeter eine 61malige Vergrösserung giebt.

Wenn man die Brennweite des Doublets von jener der äquivalenten Linse subtrahirt, so erhält man den Punkt zwischen beiden Linsen, den man dem optischen Mittelpunkte einer einfachen Linse entsprechend annehmen kann. Bei der ersten relativen Stellung der Linsen liegt derselbe $4,17 - 2,9 = 1,27^{mm}$, bei der zweiten $4,17 - 1,7 = 2,47^{mm}$ hinter dem optischen Mittelpunkte der vorderen Linse.

Diese Beispiele werden genügen, um darzuthun, wie man durch Rechnung die Brennweite und die vergrössernde Kraft von Doublets bestimmen kann. Für Triplets gelten die nämlichen Vorschriften, wenn man sie als Vereinigung eines Doublets mit einer einfachen Linse ansieht. Es wird nicht nöthig sein, dies durch ein Beispiel näher darzuthun.

Uebrigens finden die früher (§. 114 bis 116) angegebenen Methoden, die Brennweite einfacher Linsen durch Messung zu bestimmen, ihre vollständige Anwendung auf Linsensysteme, wenn man nur festhält, dass man dadurch nicht die Entfernung des Brennpunktes für die vordere Linse findet, sondern nur jene für die äquivalente einfache Linse.

Ein grosser Vorzug der Doublets und Triplets liegt darin, dass sie 126
starke Vergrösserung bewirken durch Vereinigung weniger stark vergrössernder Linsen, die sich leichter mit gehöriger Genauigkeit anfertigen lassen, als einzelne Linsen mit sehr kurzer Brennweite. Den wichtigsten Vortheil indessen bringen solche Linsensysteme dadurch, dass sie den Einfluss beider Arten von Aberration vermindern, wie aus Fig. VIII zu

*) Die Brennweite der äquivalenten Linse ist $= \frac{p p'}{p + p' - d}$, wo die Buchstaben die nämliche Bedeutung haben, wie in der vorhergehenden Anmerkung.

entnehmen ist. Wenn nämlich von dem Objecte *ab* Strahlenbündel ausgehen, so werden jene, welche von entgegengesetzten Punkten zur Seite der optischen Axe kommen, einander kreuzen. An diesem Kreuzungspunkte wird auch am vortheilhaftesten ein Diaphragma *cd* angebracht, wodurch die schief auffallenden Randstrahlen abgeschnitten werden. Vermöge dieser Kreuzung werden jene Strahlen, welche in der ersten Linse *A* zunächst dem Rande durchgingen und deshalb dem Einflusse der sphärischen Aberration zumeist unterlagen, in der zweiten Linse *B* zunächst der Axe durchgehen, und umgekehrt werden die in *A* zunächst der Axe befindlichen in *B* zunächst dem Rande auftreffen. Die entgegengesetzten Einflüsse beider Linsen auf den Gang der Strahlen heben somit einander grösstentheils, wenn auch nicht vollständig, auf, denn es ist klar, dass dieser Gegensatz abnimmt in dem Maasse, als die Strahlen näher der Axe durch das Linsensystem gehen.

Dass gleichzeitig auch eine Verbesserung der chromatischen Aberration eintritt, ist daraus zu entnehmen, dass bei jedem Durchgange der Strahlen durch eine der beiden Linsen die Richtung der violetten Strahlen, weil sie die brechbarsten sind, die stärkste Abänderung erleidet, und diese Abänderung ist in der Linse *B* die entgegengesetzte von jener in der Linse *A*. In *A* nämlich liegen die rothen Strahlen nach der Peripherie hin, die violetten nach der Axe zu, in *B* dagegen ist ihre relative Lage in Folge der Kreuzung gerade umgekehrt; da also nun die violetten Strahlen auf einen stärker brechenden Theil der zweiten Linse fallen, so werden sie wiederum den rothen Strahlen zugebrochen. Die farbigen Strahlen, wenn sie die Linse verlassen und in das Auge eindringen, werden daher auffallend weniger divergiren als früherhin, wenn auch ein vollkommen paralleler Verlauf, der zur Erreichung eines ganz farblosen Lichtes nöthig sein würde (§. 60), auf diese Weise niemals erzielt werden kann.

127 Haben die verschiedenen Linsen, welche in die Zusammensetzung eines Doublets oder Triplets eingehen, gleiche Grösse, dann ist die Oeffnung jeder einzelnen Linse auch zugleich die Oeffnung des Linsensystems, wenn auch der Oeffnungswinkel des letzteren wegen der kürzeren Brennweite grösser ist. Sind aber die Linsen in Grösse verschieden, dann muss der Oeffnungsdurchmesser des Linsensystems jenem des Strahlenbündels, welches die hinterste Linse trifft, gleich angenommen werden. Dieser Durchmesser sowohl als die Grösse des Oeffnungswinkels jener dem Systeme äquivalenten Linse lassen sich in gleicher Weise auffinden, wie es weiter oben (§. 122) für die einzelne Linse angegeben wurde. Schwierig ist es nur, den Punkt in dem Systeme genau zu bestimmen, von dem aus die Entfernungen gemessen werden müssen. Man findet ihn nach dem früher Angegebenen (§. 125), wenn man die Brennweite des Systems von jener der äquivalenten Linse abzieht. Sind aber die Brennweiten der Linsen nicht sehr verschieden von einander, dann darf man diesen Punkt ohne erheblichen Fehler in der halbirten Entfernung

zwischen der vordersten und hintersten Linse befindlich annehmen, und wenn das Bild der Oeffnung in einer etwas grösseren Entfernung aufgefangen wird, dann verschwindet ein Unterschied in dem Resultate fast gänzlich, von welchem Punkte des Systems man auch ausgehen mag.

Dass in Folge der Verbesserung der Aberrationen ein Linsensystem eine viel weitere Oeffnung besitzen kann, als eine einfache Linse von gleich stark vergrössernder Kraft, das ergiebt die Vergleichung der folgenden Zahlen, bei deren Berechnung die von Littrow (Dioptrik, S. 378, 383 u. 386, und Gehler's Wörterbuch, Art. Mikroskop) gefundenen Werthe zu Grunde gelegt sind, und die das relative Maass der Oeffnung einer Linse oder eines Linsensystems ausdrücken, das noch statthaft ist, wenn die sphärische Aberration auf ein Minimum herabgebracht wird, nämlich:

Biconvexe auf beiden Seiten gleiche Linse	1,00
Linse von der besten Form	1,19
Doublet	2,06
Triplet	3,41

Die Quadrate dieser Zahlen bezeichnen zugleich die relative Helligkeit. Während also die Schärfe des Bildes die nämliche bleibt, kann das Doublet die einfache, das Triplet mehr als die zehnfache Helligkeit einer einfachen Linse von gleicher Brennweite besitzen *). Giebt man dagegen den verschiedenen Linsen gleiche Oeffnung, dann nimmt die Aberration umgekehrt wie diese Zahlen ab. Man hat es also in der Gewalt, in der Nettigkeit des Bildes sowohl als in dessen Helligkeit gleichzeitig eine bedeutende Verbesserung zu Stande zu bringen, und überdies nimmt mit der Oeffnung auch das Gesichtsfeld an Grösse zu.

Endlich giebt es noch einen Grund, weshalb Linsensysteme vor einzelnen Linsen den Vorzug verdienen. Da nämlich die Brechung auf mehrere Oberflächen mit geringerer Krümmung sich vertheilt, so erscheint das Gesichtsfeld mehr geebnet, als es bei Anwendung einer einzelnen gleich stark vergrössernden Linse der Fall sein würde.

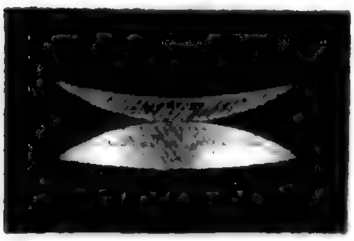
Im Allgemeinen darf man annehmen, dass Linsen, welche zu Dou- 128
blets oder Triplets vereinigt werden sollen, am besten planconvex sind und mit den flachen Seiten nach unten sehen, und es lässt sich im Voraus berechnen, welches die günstigste Stellung ist, um die stärkste Verbesserung der Aberration zu erreichen, während zugleich ein gewisses

*) Ganz genau ist dies allerdings nicht, da allemal, wenn Licht durch eine Linse geht, ein Theil der Strahlen reflectirt und absorbirt wird Legt man die Berechnungen von W. Herschel (Phil. Transactions. 1800 p. 65) zu Grunde, so treten von 100 Strahlen, welche auf eine Linse von gewöhnlicher Dicke fallen, auf der anderen Seite wiederum 94,8 heraus. Dies giebt für ein Doublet 89,9 und für ein Triplet 85,2 Strahlen. Man ersieht aber hieraus, dass der Verlust ein sehr geringer ist im Verhältniss zu der grösseren Lichtstärke, einer Folge der grösseren Oeffnung, die man den Linsensystemen geben kann.

Maass von Helligkeit erhalten bleibt. Solche Berechnungen sind indessen in der Praxis nicht gut anwendbar: die Entfernungen sind zu kurz und die Linsen selbst zu klein, als dass es möglich wäre, ein Linsensystem ganz nach vorher berechneten Zahlenwerthen anzufertigen. So geschieht es, dass bei genauer Anfertigung von Doublets und Triplets es wirklich grösstentheils auf die praktische Uebung des Mechanikus und vornehmlich auf seine Geduld ankommt, indem er durch wiederholte Versuche ein Urtheil über ihre gute Wirkungsweise sich bildet. Dazu kommt noch, dass die optischen Axen der verschiedenen Linsen vollkommen zusammenfallen müssen, oder dass, wie man sich auszudrücken pflegt, das System gehörig centrirt sein muss, was bei der Kleinheit der Linsen eine ungewöhnliche Sorgfalt in der Herstellung der Röhrchen verlangt, worin die verschiedenen Linsen gefasst sind. Pritchard versichert, dass er manchmal ganze Tage darauf hat verwenden müssen, ein auseinandergenommenes Doublet wiederum in Ordnung zu bringen.

Ausser den beim einfachen Mikroskope zumeist gebräuchlichen, aus planconvexen Linsen bestehenden Doublets muss hier noch eines Doublets von eigenthümlicher Construction gedacht werden (Fig. 62), welches J. Herschel zuerst angegeben hat. Es besteht aus einer biconvexen Linse von der besten Form, die mit einem convergirenden Meniscus verbunden ist. Die bezüglichen Krümmungen beider Linsen sind der Art, dass die Aberrationen auf ein Minimum herabgebracht sind. Zu starken Vergrösserungen scheint diese Combination weniger zu passen, weil die Krümmungen der Linsen den durch Berechnung gefundenen Werthen sehr genau entsprechen müssen, was bei kleinen Linsen ungemein schwer zu erreichen ist: für Lupen dagegen und für manche andere Zwecke, die später zur Sprache kommen werden, ist ein solches Doublet sehr brauchbar, da es eine sehr weite Oeffnung gestattet und folglich ein weites Gesichtsfeld hat.

Fig. 62.



Endlich will ich noch bemerken, dass Doublets und Triplets nicht nur aus Glaslinsen können gefertigt werden, sondern auch aus Linsen, die aus Diamant oder anderem Edelgestein bestehen. Unterläge die Anfertigung solcher Linsen nicht zu grossen Schwierigkeiten, so würde man natürlich den daraus zusammengesetzten Systemen noch bei Weitem den Vorzug geben müssen vor den aus Glaslinsen zusammengesetzten. Beim gegenwärtigen Stande der Sachen muss man aber zugeben, dass so kostbare Linsensysteme ein ganz überflüssiger Luxus sind und dass sie Derjenige, der ein gutes aplanatisches Mikroskop besitzt, ganz entbehren kann.

129 Ueber die mechanische Einrichtung der Lupen und einfachen Mikroskope kann ich mich hier kurz fassen. Zwischen beiden giebt es keinen wahren Unterschied. Nur belegt man mit dem Namen der Lupen gewöhnlich solche Instrumente, wo die Linse oder

das Linsensystem nur mässig vergrössert und wo die ganze Einrichtung eine einfachere ist.

Was die Fassung der Linsen betrifft, so ergab sich schon aus dem früher Mitgetheilten die Nothwendigkeit, sie so einzurichten, dass sie die möglichste Annäherung des Auges zur Linse gestattet. Linsen mit schwacher Vergrösserung kann man mit der Hand halten, oder man kann sie an ein besonderes Gestell oder ein Stativ befestigen, mittelst dessen man sie in die gewünschte Entfernung vom Objecte bringen kann, falls man beide Hände zum Arbeiten zu gebrauchen wünscht. Die letztere Vorrichtung ist unerlässlich bei Linsen, die stärker sind, als man sie zum einfachen Mikroskope zu benutzen pflegt, und es muss ausserdem noch ein passender Beleuchtungsapparat angewendet werden, um Licht aufzufangen und die Objecte auf einem erhellten Grunde zu sehen, ohne genöthigt zu sein, sie dem hellen Himmel oder einem anderen Lichte zuzukehren, wobei die verticale Stellung in mancherlei Beziehung, besonders aber beim Präpariren sehr hinderlich sein würde. Endlich muss zwischen dem Spiegel und der Linse eine durchbohrte Platte angebracht werden, auf die man die Objecte legen kann.

Die besondere Einrichtung der einzelnen Theile dieses Apparates wird späterhin ausführlich betrachtet werden; sie muss ganz davon abhängen, was man mit einer Lupe oder mit einem einfachen Mikroskope beabsichtigt. Ich muss aber hier sogleich bemerken, dass das zusammengesetzte Mikroskop, nachdem es so bedeutende Verbesserungen erfahren hat, bei allen Untersuchungen, wo starke Vergrösserungen nöthig sind, bei Weitem den Vorzug verdient, da es fast alle Vorzüge des einfachen Mikroskops besitzt, damit aber noch ein grösseres Gesichtsfeld, eine grössere Entfernung der Objecte, grössere Lichtstärke und mindestens eine gleich grosse Schärfe verbindet, und da überdies bei seinem Gebrauche das Auge weniger angegriffen wird als durch sehr kleine Linsen, die doch zu starken Vergrösserungen mittelst des einfachen Mikroskops erforderlich sind.

Nur in Einer Beziehung kann man auch jetzt noch dem einfachen Mikroskope zu Untersuchungen den Vorzug geben, da es nämlich wegen der kleineren Form bequem auf Reisen mitzunehmen ist, und für diesen Fall können stark vergrössernde Linsen oder Linsensysteme bei demselben von wesentlichem Nutzen sein. In den meisten übrigen Fällen kann man diese stark vergrössernden Gläser entbehren, denn der eigentliche Nutzen des einfachen Mikroskops besteht gegenwärtig noch hauptsächlich darin, dass es ein Hülfsmittel ist, um vergrösserte Objecte behufs näherer Untersuchung zu präpariren, was unter dem zusammengesetzten Mikroskope wegen Umkehrung des Bildes immer sehr schwer hält und nur nach längerer Uebung ausführbar ist. Hat man auch bereits Mittel gefunden, dieser Unvollkommenheit des zusammengesetzten Mikroskops abzuhelfen, so werden doch Viele noch lange Zeit hindurch dem einfachen Mikroskope hierbei den Vorzug geben.

Wenn wir nun so dem einfachen Mikroskope seinen mehr beschränkten Kreis anweisen, so ist klar, dass seine Vergrösserungen nicht über 50 bis 60 Mal hinaus zu gehen brauchen. Bei dieser Vergrösserung bleibt es noch gerade entfernt genug vom Objecte, dass man unter der Linse arbeiten kann, was bei einer stärkeren Vergrösserung bald unthunlich wird, nicht nur wegen der geringen Entfernung zwischen Object und Linse, sondern auch, weil die Bewegungen der Hand nicht hinlänglich sicher und unsere Werkzeuge nicht fein genug sind, um mit Vortheil stärkere Vergrösserungen beim Präpariren zu benutzen.

Halten wir diesen Zweck für das einfache Mikroskop fest, so ergiebt sich zugleich, dass seine ganze Einrichtung möglichst einfach sein muss. Alle combinirten und feinen Bewegungen, die beim zusammengesetzten Mikroskope vortheilhaft sein können, vermögen einem blos zum Präpariren bestimmten einfachen Mikroskope keinen Vorzug zu verschaffen. Der Objecttisch muss zu diesem Zwecke gross, fest, ganz frei und unbeweglich sein, so dass das Object nicht der Linse, vielmehr diese dem Objecte genähert wird. Diese Annäherung wird besser durch ein Triebwerk als durch eine Schraube bewirkt, weil die Bewegung im ersteren Falle eine raschere ist und doch mit ausreichender Genauigkeit stattfindet, da hier nur kleinere Vergrösserungen angewendet werden. Will man auch starke Vergrösserungen anwenden, so kann noch eine zweite feinere Bewegung mittelst einer Mikrometerschraube angebracht werden. Als Beleuchtungsapparat ist ein ebener Spiegel für alle Fälle ausreichend, wo die Vergrösserung nicht über 50 und 60 Mal hinausgeht. In Ausnahmefällen und wenn stärkere Linsen benutzt werden, können aber auch andere Beleuchtungsvorrichtungen passen, von denen später die Rede sein wird. Endlich muss die Gesammthöhe des Instrumentes, namentlich aber des Objecttisches, der Art sein, dass man bequem in sitzender Stellung damit arbeiten kann.

Zweites Kapitel.

Das Bildmikroskop.

130 Unter diesem allgemeinen Namen wollen wir verschiedene Instrumente zusammenfassen, die alle darin übereinstimmen, dass das mittelst einer Linse oder einer Vereinigung von Linsen erzeugte Bild eines stark erhellten Objects in einem dunkeln Raume auf einem Schirme aufgefangen wird. Es gehören dazu das Sonnenmikroskop, das Lampenmikroskop, das Gasmikroskop und das photoelektrische Mikroskop.

Ich halte es für zweckmässig, die allgemeine Betrachtung der Art und der Bestimmung dieser Instrumente hier folgen zu lassen, weil sie vermöge ihrer optischen Einrichtung einen Uebergang bilden zwischen dem einfachen und dem zusammengesetzten Mikroskope.

Die Theorie der Bildmikroskope ist sehr einfach und bereits ganz 131
in dem oben (§. 42 und 43) Mitgetheilten und durch Fig. 31 und 32 Erläuterten enthalten, wo vom Entstehen der Bilder durch Linsen im Allgemeinen die Rede war. Dort stellten sich folgende Punkte heraus:

1) Hinter einer Linse entsteht immer ein Bild eines vor derselben befindlichen Objectes, wenn dieses Object sich in einiger Entfernung ausserhalb der Brennweite befindet. Was von einer einzelnen Linse gilt, das passt auch auf eine Vereinigung von Linsen, wodurch eine gleiche Wirkung erzielt wird, wie durch eine einzelne Linse.

2) Das Bild hat die umgekehrte Lage vom Objecte.

3) Das Bild eines in gerader Ebene liegenden Objects kommt in eine nach einem Kegelschnitte gebogene Ebene zu liegen.

4) Das Bild ist grösser als das Object, sobald die Entfernung, in der es sich darstellt, grösser ist als die doppelte Brennweite der Linse. Da nun bei allen Bildmikroskopen die Entfernung, in welcher das Bild aufgefangen wird, sehr gross ist im Verhältniss zur Brennweite der Linse, so folgt hieraus einestheils, dass das Bild stark vergrössert sich darstellen muss, und anderentheils, dass das Object dem Brennpunkte der Linse sehr nahe gebracht werden muss. Es lehrt z. B. die Berechnung, dass bei einer Linse von 5^{mm} Brennweite das Object $5{,}05^{mm}$ entfernt von der Linse sich befinden muss, wenn das Bild in 0,5 Meter Entfernung sich gestalten soll. Ist diese letztere Entfernung = 2 Meter, dann muss das Object der Linse bis auf $5{,}012^{mm}$ oder dem Brennpunkte bis auf $^1/_{83}{}^{mm}$ genähert werden. Da nun der auffangende Schirm meistens noch mehr als 2 Meter entfernt ist, so darf man mit ziemlicher Genauigkeit für die meisten Fälle annehmen, dass das Object wirklich im Brennpunkte der Linse befindlich ist, wo dann die Vergrösserung gleich sein würde der Entfernung des Schirms dividirt durch die Brennweite der Linse*). Hieraus folgt zugleich, dass die Vergrösserung in gleichem Verhältniss mit dem Näher- und Fernerstehen des Schirms ab- und zunimmt.

Zu einem Bildmikroskope gehören drei wesentliche Theile: 1) Eine 132
Vorrichtung, um die Objecte in die gehörige Entfernung von der Linse oder vom Linsensysteme zu bringen. 2) Ein Apparat zur Beleuchtung des Objectes. 3) Ein im dunkeln Raume befindlicher Schirm, um dem Auge

*) Genau ausgedrückt ist die Entfernung des Objectes vom optischen Mittelpunkte der Linse $= \frac{pb}{b-p}$, die Vergrösserung aber $= \frac{b-p}{p}$, wenn b die Entfernung des Bildes von der Linse, und p die Brennweite der Linse bezeichnet.

das Bild sichtbar zu machen. — Diese Bestandtheile sind einzeln der Reihe nach zu betrachten.

133 Der erste Theil dieser Einrichtung ist der wesentlichste. In der Hauptsache entspricht er ganz dem einfachen Mikroskope, wenn nur der hierbei gebräuchliche Beleuchtungsapparat weggelassen wird. Da aber das Bildmikroskop nicht vollkommen die nämliche Bestimmung hat wie das einfache Mikroskop, so müssen in den verschiedenen Unterabtheilungen des Apparates einige Modificationen angebracht werden.

Die nämlichen Linsen und Linsensysteme, welche beim einfachen Mikroskope in Gebrauch sind, finden auch hier Anwendung. Nur ist der Einfluss der chromatischen Aberration auf die Schärfe der Bildumrisse merkbarer, und deshalb erscheint es rathsam, hier nicht blos Doublets und Triplets mit Linsen aus einer einzelnen Glassorte zu nehmen, sondern Systeme von achromatischen Doppellinsen anzuwenden, die auf die nämliche Art zubereitet sind, wie jene im zusammengesetzten Mikroskope gebräuchlichen Linsen, mit dem Unterschiede jedoch, dass die Kron- und Flintglaslinsen nicht mittelst Canadabalsam vereinigt sein dürfen, weil dieser durch die Wärme, der die Linsen ausgesetzt werden, schmelzen und sich trüben würde. Auch dürfen solche Systeme nicht überverbessert sein, wie dies beim zusammengesetzten Mikroskope wegen der Aberration des Oculars nöthig ist, sondern sie müssen wo möglich vollkommen aplanatisch sein. Ferner ist bei der Fassung der Linsen darauf zu sehen, dass die äussersten Randstrahlen nicht abgeschnitten werden, damit das Feld, worauf das Bild sich darstellt, möglichst gross sei.

Auch bei Bildmikroskopen ist es gut, wenn die Linse nach dem Objecte hin bewegt wird und nicht das Object nach der Linse zu, weil im letzteren Falle der Grad der Beleuchtung, auf den hier besonders viel ankommt, immer auch eine Veränderung erleiden würde. Auch hier wird die Bewegung wieder am besten durch ein Triebwerk zu Stande gebracht. Da ferner der Objecttisch hier niemals zum Präpariren der Objecte benutzt wird, sondern nur zu deren Befestigung dient, so braucht derselbe nicht frei zu sein und nur die Grösse zu haben, die gerade nöthig ist, um die nöthigen Hülfsmittel zur Befestigung der Kästchen, Glasplättchen u. s. w. mit den Objecten anzubringen.

134 Es mindert sich die Lichtstärke der Objectbilder in dem doppelten Verhältnisse der Quadrate der Durchmesser der gebrauchten Linsen und des Quadrats der Entfernung, in welcher sich das Bild gestaltet. Daraus ergiebt sich die Nothwendigkeit, dass bei einem Bildmikroskope den Objecten, oder, falls diese undurchsichtig sind, dem Gesichtsfelde eine sehr starke Beleuchtung zu Theil werden muss. Der Beleuchtungsapparat ist daher auch ein sehr wichtiger und stets der voluminöseste Theil eines Bildmikroskops.

Jedes Licht, wie es auch erzeugt worden sein mag, kann zur Beleuchtung der Objecte benutzt werden, wenn es nur einen hinreichenden Grad von Intensität besitzt. Da man nun jetzt im Besitze verschiedener

Mittel ist, um ein starkes Licht zu erzeugen, so werden natürlich auch die Beleuchtungsapparate sehr verschiedenartig sein können.

Bei geringen Vergrösserungen kann das Licht einer Argand'schen Lampe benutzt werden, das man mittelst einer grossen Linse in concentrirtem Zustande auf das Object leitet, und wirklich hat man in früherer Zeit solche Lampenmikroskope verfertigt. Dieselben sind aber jetzt ganz ausser Gebrauch, seitdem man durch andere künstliche Mittel ein viel stärkeres Licht zu erzeugen gelernt hat.

Hierher gehört zuvörderst das Licht, welches entsteht, wenn Kalk 135
in eine Flamme von Wasserstoff- und Sauerstoffgas gehalten wird, von welcher Beleuchtungsweise das Instrument auch den Namen Hydro-oxygengasmikroskop oder kurzweg Gasmikroskop führt. Man hat mancherlei Apparate ersonnen, die hierzu anwendbar sind und die später beschrieben werden sollen. Bequemlichkeit und Sicherheit der Anwendung sind die Haupterfordernisse, wodurch sich ihr relativer Werth bestimmt. Jedes der beiden Gase muss in einem besonderen Gasbehälter eingeschlossen sein und sie müssen erst nahe der Stelle, wo sie vereinigt ausströmen, mit einander sich vermischen. Ein ferneres Erforderniss ist es, dass das Zuströmen der Gase und die Grösse der Flamme gehörig regulirt werden können, und dass der Kalkcylinder um seine Axe beweglich ist, was am besten durch ein Uhrwerk erzielt wird. Das Licht wird ferner auf das nahe dem Vereinigungspunkte der Strahlen befindliche Object concentrirt mittelst eines Hohlspiegels oder mittelst einer Linse von grossem Umfange, die wegen der Nähe der Lichtquelle eine kurze Brennweite haben müssen. Ist ein einzelner Hohlspiegel oder ist eine einzige grosse stark gewölbte Linse dazu nicht ausreichend, so kann deren Wirkung noch durch eine zweite Linse unterstützt werden.

Beim photoelektrischen Mikroskope geht die Beleuchtung 136
von jenem Lichte aus, welches zwischen zwei Kohlenspitzen als Polen einer galvanischen Batterie entsteht. Die hierzu nöthige Vorrichtung ist einer der verschiedenen Apparate, die unter dem Namen der constanten Batterien bekannt sind, und durch welche zwei kegelförmig zulaufende Stückchen Kohle, die an den Polenden befestigt und einander genähert sind, zum Glühen gebracht werden. Ihr Licht wird dann, wie beim Gasmikroskope, durch einen Hohlspiegel oder eine Glaslinse auf das Object concentrirt. Zur gehörigen Regulirung der Beleuchtung sind noch eine Reihe von Vorkehrungen nöthig, die später ausführlich besprochen werden sollen.

Das Sonnenmikroskop ist das älteste unter den verschiedenen 137
Bildmikroskopen, und es übertrifft die beiden vorigen noch immer durch seine Lichtstärke. Nach den Versuchen, welche Fizeau (*Bulletin de la Soc. d'encouragement.* Sept. 1845. p. 393 u. Dingler's polytechnisches Journ. 1846. C. S. 115) über die Zeitdauer anstellte, welche nöthig ist, um photographische Abbildungen von gleicher Stärke zu erhalten, war die Lichtintensität

der Sonne . . . . = 1
des Kalks in der Hydrooxyengasflamme . . . . . = $^1/_{146}$
der Kohlenspitzen einer Bunsen'schen Batterie von
80 Elementen . . . . = $^1/_{4,2}$
der Kohlenspitzen einer Batterie von 138 Elementen = $^1/_{2,5}$

Wenn sich auch in diesen Zahlen die grössere Intensität des beim photoelektrischen Mikroskope benutzten Lichtes vor jenem beim Gasmikroskope angewendeten herausstellt, so ergiebt sich doch zugleich, dass unerachtet des so umfänglichen Apparats das elektrische Licht zwischen den Kohlenspitzen dem Sonnenlichte doch noch nicht gleichkommt. Auch darf man nicht vergessen, dass beim Sonnenmikroskope die Lichtquelle sich in unendlicher Entfernung befindet, so dass es möglich ist, mittelst einer concentrirenden Linse im Brennpunkte alle Strahlen in einem sehr kleinen Raume zu vereinigen, wobei das Sonnenbild fast punktförmig wird, während bei jeder künstlichen Lichtquelle eine solche Vereinigung nur in einem viel beschränkteren Maasse zu erreichen ist. Die Entfernung dieser letzteren nämlich im Vergleich zu jener Entfernung, wo sich die Strahlen nach ihrem Durchgange durch die concentrirende Linse schneiden, ist immer eine sehr unbedeutende, wenn man das nämliche Verhältniss zwischen dem Sonnenabstande und dem Vereinigungspunkte der Sonnenstrahlen hinter einer Linse damit vergleicht. Das Bild einer künstlichen Lichtquelle ist deshalb immer nur ein mässig verkleinertes, die Concentration des Lichtes an der betreffenden Stelle deshalb stets viel schwächer als vom Sonnenlichte. Daraus folgt soviel, dass, wenn es auch möglich wäre, künstlich eine Lichtquelle zu schaffen, deren Intensität das Sonnenlicht erreichte oder selbst überträfe, es gleichwohl nicht möglich sein würde, das Licht so stark zu concentriren, dass es dem durch eine Linse concentrirten Sonnenlichte gleich käme.

In der That ist das Sonnenmikroskop unter allen Bildmikroskopen noch immer das beste, und es würde alle anderen derartigen Apparate ganz überflüssig machen, wäre nicht die Unannehmlichkeit, dass man bei seiner Benutzung vom Zustande des Himmels abhängig ist.

183 Der Beleuchtungsapparat des Sonnenmikroskops besteht aus einem beweglichen Spiegel zum Auffangen des Lichtes und aus einer Linse zu dessen Concentrirung. Es ist vortheilhaft, wenn diese Linse einen grossen Durchmesser etwa von 12 bis 15 Centimeter hat, nicht sowohl um das Licht zu vermehren, da man mit einer derartigen Linse so starkes Licht bekommt, dass die Objecte bei geringeren Vergrösserungen nicht in den Vereinigungspunkt der Strahlen gebracht zu werden brauchen, wo auch die Wärme für viele organische Körper zu gross sein würde, sondern weil man bei Anwendung einer kleineren Linse, wenn die gleiche Lichtstärke erzielt werden soll, die Gegenstände dem Vereinigungspunkte der Strahlen näher bringen muss, wo dann der Durchschnitt des Lichtkegels kleiner ist, und es mithin auch schwerer fällt, eine gleichmässige Beleuchtung zu erreichen.

Jedem Sonnenmikroskope muss ferner eine Einrichtung zugefügt werden, mittelst deren man die Beleuchtung ermässigt oder verstärkt, je nachdem die angewandte Vergrösserung und die Art der dargestellten Objecte dies nöthig macht. Auf dreifache Art lässt sich dieses Ziel erreichen:

a) durch Abänderung der Entfernung zwischen Object und Beleuchtungslinse;

b) oder indem man Linsen mit kürzerer oder längerer Brennweite in die Bahn der Strahlen einschiebt;

c) oder dass man den Durchmesser des Strahlenkegels verkleinert, indem man in seiner Bahn ein Diaphragma anbringt, dessen Oeffnung vergrössert und verkleinert werden kann.

Das letztgenannte Verfahren ist zwar meines Wissens noch nicht in praktische Anwendung gekommen, scheint aber vor dem zweiten den Vorzug zu verdienen, weil hier keine graduelle Veränderung der Lichtstärke möglich ist, und ebenso vor dem ersten wegen der grösseren Genauigkeit und Leichtigkeit der Bewegung. Es kann ein solches Diaphragma aus zwei rechtwinkelig ausgeschnittenen Kupferplatten bestehen, die zusammen eine quadratische Oeffnung haben und durch einen Trieb über einander gleiten.

Der Spiegel hat nur den Zweck, die Unannehmlichkeit zu beseitigen, die damit verbunden sein würde, wenn man die Beleuchtungslinse stets der Sonne zugekehrt halten müsste. Um die Strahlen gehörig bei allen Stellungen der Sonne auffangen zu können, muss der Spiegel in zwei Richtungen sich bewegen lassen. Da die Sonne scheinbar in die Höhe steigt und sinkt, so muss der Winkel, den der Spiegel mit der Beleuchtungslinse bildet, sich vergrössern und verkleinern lassen. Um aber auch zweitens der scheinbaren Bewegung der Sonne von Osten nach Westen folgen zu können, muss der Spiegel eine drehende Bewegung um die Axe des Beleuchtungsapparates besitzen, die zugleich auch Axe des ganzen Mikroskops ist. Diesen beiden Bewegungszwecken entsprechen verschiedene mechanische Einrichtungen. Das vorzüglichste, aber freilich auch das kostbarste Mittel ist die Bewegung des Spiegels mittelst eines Heliostats.

Der Spiegel muss ferner eine solche Grösse besitzen, dass seine Breite mindestens den Durchmesser der Beleuchtungslinse erreicht, und er muss gehörig lang sein, um auch bei einem tieferen Stande der Sonne noch ein Strahlenbündel aufzufangen, dessen Durchschnitt dem nämlichen Durchmesser gleichkommt.

Den bisher beschriebenen Beleuchtungsapparaten muss noch 139
eine zweite Einrichtung zugefügt werden, um undurchsichtige Gegenstände zu beleuchten. Auch dies kann wieder auf verschiedene Art geschehen; immer aber wird dabei beabsichtigt, mittelst eines ebenen oder hohlen Spiegels, den man vor das Object stellt, das Licht vom Beleuchtungsapparate aufzufangen und auf die vordere Fläche des Objects zu reflec-

tiren. Natürlich müssen diese Spiegel in der Weise angebracht werden, dass sie den Durchgang der Lichtstrahlen durch die Vergrösserungslinse nicht behindern.

140 Um den Einfluss der Wärme zu mindern, die, weil sie mit dem Lichte zugleich auf das Object concentrirt wird, nicht selten sehr nachtheilig auf dieses einwirkt, kann man mancherlei Substanzen in die Bahn der Strahlen bringen, von denen es bekannt ist, dass sie einen Theil der Wärmestrahlen absorbiren, dabei aber doch das Licht durchlassen. Durch genauere Versuche muss aber noch nachgewiesen werden, welche Körper für die Licht- und Wärmequellen, welche bei Bildmikroskopen in Betrachtung kommen, als die besten zu erachten sind. Die Ergebnisse der Melloni'schen Versuche über die Permeabilität der Körper für Wärmestrahlen geben hierüber Winke, ohne jedoch maassgebend zu sein, weil die Permeabilität mit dem Grade der entwickelten Wärme sich verändert, wie man aus Melloni's Versuchen selbst ersieht.

141 Endlich gehört noch zu jedem Bildmikroskope ein dunkler Raum und ein Schirm, um das Bild sichtbar zu machen. Als dunkeln Raum benutzt man in der Regel ein verdunkeltes Zimmer; doch kann man sich für bestimmte Zwecke auch jedes anderen dunkeln Raumes bedienen, worin man das Bild in gleicher Weise wie in einer Camera obscura auffängt. Mehrerer tragbarer Apparate dieser Art wird später gedacht werden. Wird ein ganzes Zimmer als dunkler Raum benutzt, so kommt es darauf an, dass alles Licht, auch jenes vom Beleuchtungsapparate, ganz abgehalten wird. Beim Gasmikroskope und beim photoelektrischen Mikroskope wird deshalb die Lichtquelle mit einem dazu bestimmten kleinen Kasten umgeben, der mit einem Schornsteine versehen ist, damit die durch Verbrennung erzeugten Gase entweichen können. Auch ist es zweckmässig, wenn der Kasten eine Oeffnung hat, die durch ein sehr dunkel gefärbtes Glas geschlossen werden kann, das aber doch noch erlaubt, das Licht zu sehen, damit es gehörig regulirt werden kann.

Beim Sonnenmikroskope befindet sich der Spiegel ausserhalb des Zimmers und ein Futteral, welches die Beleuchtungslinse mit dem Objecttische in Verbindung setzt, verhindert, dass das durch die erstere dringende Licht im Zimmer sich ausbreitet. Deshalb muss auch der Raum zwischen dem Objecte und der Vergrösserungslinse möglichst abgeschlossen sein, so dass nur soviel Platz übrig bleibt, um die Objecte auf dem Objecttische befestigen zu können.

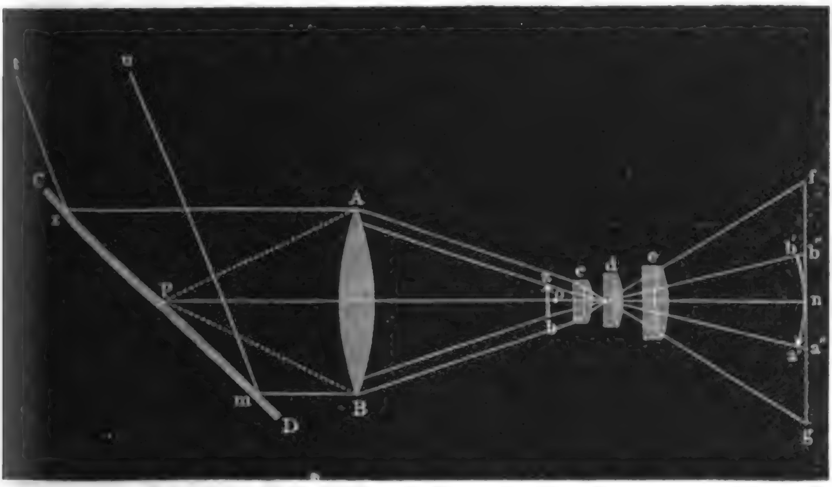
142 Als Schirm zum Auffangen des Bildes kann man bei allen Bildmikroskopen die nämlichen Gegenstände verwenden. Bei grösseren Entfernungen benutzt man ein weisses leinenes oder kattunenes Tuch, das nicht zu grob ist und die gehörige Grösse haben muss, um das ganze erleuchtete Feld aufzunehmen. Eine weiss getünchte Mauer ist nicht so gut, weil dabei eine Abänderung in der Entfernung von der Linse nicht möglich ist. Zu kleineren Schirmen, die man bei einer geringeren Entfernung benutzen kann, ist ein glattes weisses Papier brauchbar, das

auch wohl mit Leinöl oder Firniss getränkt sein kann, um das Bild auf der anderen Fläche sichtbar zu machen. Zu gleichem Zwecke kann auch mit Vortheil eine matt geschliffene Glasplatte genommen werden, die in allen jenen Fällen den Vorzug verdient, wo man das Bild nicht blos sehen, sondern auch messen oder abzeichnen will. Für den letztgenannten Zweck eignet sich noch besser eine durchscheinende Platte von gewöhnlichem Spiegelglase, auf die man dann mit Terpentinöl durchtränktes Papier legt.

Auf den ersten Blick muss es vortheilhaft erscheinen, wenn man einen Schirm benutzt, der nicht geradflächig, sondern gekrümmt ist, so zwar, dass seine Krümmung der Ebene entspricht, in welcher sich das Bild gestaltet (§. 43). Wäre aber auch die Herstellung eines solchen Schirmes nicht sehr mühsam, derselbe würde doch nur wenig zu benutzen sein, weil nach dem weiter oben Mitgetheilten die Vergrösserung des Bildes von der Mitte des Feldes aus nach der Peripherie zu abnimmt, und weil zweitens auch die Krümmung der Fläche für jede Entfernung und für jede in Anwendung gezogene Linse eine andere sein müsste.

Was bisher über die Bildmikroskope gesagt worden ist, wird durch Fig. 63 erläutert. Befindet sich das Object *ab* etwas ausserhalb des 143

Fig. 63.



Brennpunktes *o* des achromatischen Linsensystems *cde*, so bekommt man in *b'a'* ein vergrössertes und verkehrtes Bild desselben. Entweder muss aber die dem Linsensysteme zugewandte Fläche von *ab* beleuchtet werden, wo dann das Bild mit allen Farben des Objectes sich darstellt, oder letzteres muss von hinten beleuchtet werden, wo sich dann in *b'a'* ein Schattenbild abzeichnet. Ein solches Schattenbild ist in Fig. 63 dargestellt, wo die Linse *AB* dazu dient, entweder die Sonnenstrahlen *tz* und *um*, welche vom Spiegel *CD* reflectirt werden, oder die Strahlen *pA* und

pB, welche von einem künstlichen Lichte in p ausgehen, auf der hinteren Fläche von ab zu concentriren, wo aber nur ein Theil des Strahlenkegels aufgehalten wird und die übrigen Strahlen, nachdem sie das Linsensystem durchsetzt haben, zur Beleuchtung des Feldes dienen, dessen Durchschnitt in fg angegeben ist. Stellt dieses Feld eine gerade Ebene dar, so wird das Bild offenbar nur in n ein ganz scharfes sein.

144 Aus dem früher Entwickelten (§. 134) folgt, dass beim Bildmikroskope zwei Hauptmittel zu Gebote stehen, um die Vergrösserung stärker zu machen: man kann den Schirm weiter entfernen, oder man benutzt Linsen oder Linsensysteme von kürzerer Brennweite. Das letztere Mittel verdient überall, wo es anwendbar ist, den Vorzug, weil mit dem Weiterrücken des Schirmes das Bild alsbald sehr an Deutlichkeit verliert. Ueberdies wird auch dadurch die Ebene, in welche das Bild zu liegen kommt, stärker gekrümmt, weil mit einem Weiterrücken des Schirmes eine Annäherung des Objectes an die Linse parallel gehen muss (§. 43).

Es giebt aber noch zwei andere Mittel, die in einzelnen Fällen anwendbar sind. Das erste besteht darin, dass man die Strahlen, bevor sie den Schirm erreichen, durch eine biconcave oder planconcave Linse gehen lässt. Eine solche Linse besitzt nämlich (§. 45) die Eigenschaft, divergirende Strahlen noch stärker divergirend zu machen, und da die Vergrösserung des Bildes für eine bestimmte Entfernung ganz davon abhängt, in welchem Grade die verschiedenen Strahlenkegel, welche zur Erzeugung des Bildes beitragen, auseinander weichen, so muss durch eine solche Zerstreuungslinse die Vergrösserung offenbar zunehmen. Uebrigens ist es vortheilhaft, wenn diese Linse gleich jenen des Linsensystems achromatisch, also aus Flint- und Kronglas zusammengesetzt ist.

Man kann endlich in einiger Entfernung vorderhalb des Linsensystems das gewöhnliche Ocular eines zusammengesetzten Mikroskops anbringen. Dadurch wird nicht nur eine stärkere Vergrösserung des Bildes erreicht, sondern dasselbe erhält auch wieder die ursprüngliche Richtung des Objects, was in manchen Fällen vortheilhaft sein kann. Auch erlangt man noch den Gewinn durch dieses Verfahren, dass man bei passender Wahl der beiden Linsen, die das Ocular zusammensetzen, die Krümmung des Bildes ganz zu beseitigen im Stande ist, wie weiterhin bei Betrachtung des zusammengesetzten Mikroskops erhellen wird. Ein Nachtheil ist aber damit verbunden, nämlich eine Verkleinerung des Feldes und ein bedeutender Verlust an Licht, eine Folge der wiederholten Reflexionen beim Durchgange der Strahlen durch das Ocular. Beim Gasmikroskope und beim photoelektrischen Mikroskope ist demnach von diesem Mittel wenig zu erwarten; aber auch beim gewöhnlichen Sonnenmikroskope kann man von seiner Anwendung füglich abstehen. Beim tragbaren Sonnenmikroskope dagegen verdient eine solche Vorrichtung vor allen anderen den Vorzug; davon habe ich mich durch vielfachen Gebrauch eines solchen Apparates überzeugt, den ich späterhin ausführlich beschreiben werde. Nur will ich noch bemerken, dass bei Benutzung

gewöhnlicher nicht aplanatischer Oculare die Linsensysteme, gleich denen im zusammengesetzten Mikroskope, überverbessert sein müssen, damit die entgegengesetzten Aberrationen einander gegenseitig aufheben. Benutzte man Linsensysteme, die für sich allein gebraucht ein sehr scharfes Bild geben, wie jene eines gewöhnlichen Sonnenmikroskops sein sollen, dann würde ein nicht aplanatisches Ocular dem Bilde viel von seiner Schärfe rauben.

Bildmikroskope geben unter allen Arten von Mikroskopen die stärk- 145
sten Vergrösserungen. Es hält nicht schwer, bei Benutzung von Linsen mit kurzer Brennweite mittelst des Sonnenmikroskops Bilder zu erhalten, deren Durchmesser die Objecte 7 bis 8000 Male übertrifft. Eine Linse z. B., welche im einfachen Mikroskope für eine mittlere Sehweite von 25 Centimeter 400 Male vergrössert, wird auf einem Schirme, der sich in der nämlichen Entfernung befindet, ein Bild erzeugen, dessen Durchmesser beinahe 400 Mal grösser ist als das Object (§. 117). Wird nun der Schirm in 1 Meter Entfernung gebracht, so ist die Vergrösserung bereits eine 1600fache, bei 3 Meter Entfernung eine 4800fache, und bei 5 Meter eine 8000fache. Bei einem gut eingerichteten und zweckmässig gehandhabten Sonnenmikroskope hat man auch noch hinreichendes Licht, um bei diesen ausserordentlichen Vergrösserungen und selbst bei noch weiter gehenden*) die Bilder der Objecte unterscheiden zu können. Bei einem Gasmikroskope dagegen, dessen Lichstärke eine viel geringere ist, kann man schon bei einer 1500fachen Vergrösserung wenig mehr vom Bilde erkennen. Ueber die Grenzen des photoelektrischen Mikroskops kann ich nichts aus eigener Untersuchung bestimmen; nach dem, was weiter oben angegeben wurde, müssen sie aber zwischen den Grenzen des Sonnenmikroskops und des Gasmikroskops liegen.

Diese starken Vergrösserungen erzeugen bei unkundigen Beobachtern die Vorstellung, als biete sich in dieser Art von Instrumenten das ausgiebigste Hülfsmittel zu Untersuchungen, welches alle anderen Arten von Mikroskopen bei Weitem übertreffe. Zu dieser irrigen Vorstellung trägt auch das grosse Gesichtsfeld bei. Ein kleines Insect von etwa 1^{mm} Länge wird sich bei einer 1000maligen Vergrösserung noch vollständig auf dem Schirme darstellen, und zwar als ein Ungeheuer von 1 Meter Länge. Dieses nämliche Insect kann mittelst eines zusammengesetzten Mikroskops, ja selbst mit einer einfachen Linse eben so stark vergrössert werden; man sieht aber dann nur einen kleinen Theil desselben auf einmal, und die Vergrösserung, wenngleich sie in Wirklichkeit vollkommen dieselbe ist, erscheint dem Ungeübten durchaus nicht so stark, weil er die verschiedenen kleinen Theile, welche nach einander ins Gesichtsfeld treten, nicht zu einem Ganzen zu vereinigen vermag. Deshalb machen die Bildmikroskope auf das Publikum immer noch einen

*) Bei Benutzung stark vergrössernder Glaskügelchen habe ich Vergrösserungen von 16000 Mal im Durchmesser erreicht.

viel grösseren Eindruck, als die Beobachtung durch andere Mikroskope, obwohl diese zu wirklichen Untersuchungen bei Weitem besser sich eignen. Man muss selbst als Regel aufstellen, dass zu wissenschaftlichen Untersuchungen niemals ein Bildmikroskop allein benutzt werden darf, da dessen starke Vergrösserungen immer nur auf Kosten der Deutlichkeit in den Umrissen des Bildes erhalten werden. Den gewöhnlichen Fehlern der Linsen, der sphärischen und chromatischen Aberration, die sich zwar verbessern, aber niemals ganz beseitigen lassen und deren Einfluss in wachsendem Maasse zunimmt, wenn der Schirm entfernter gerückt wird, gesellen sich noch die mannigfaltigen Interferenzen der Lichtstrahlen zu, die mit den hier angewendeten Beleuchtungsweisen nothwendig vergesellschaftet sind. Dies hat zur Folge, dass man zeitig schon für die Entfernung des Schirmes eine Grenze findet, die nicht überschritten werden kann, weil das Bild dadurch zwar an Grösse zunimmt, aber an Deutlichkeit verliert; daher man bei stärkerer Vergrösserung wirklich weniger in dem Bilde sieht als bei schwächerer. In dem Maasse, als man stärker vergrössernde Linsen oder Linsensysteme anwendet, rückt diese Grenze näher an das Object. Im Allgemeinen kann man annehmen, dass in dem durch eine Linse oder ein Linsensystem auf einem Schirme erzeugten Bilde selten etwas mehr wahrgenommen wird, als was man durch die nämlichen optischen Hülfsmittel bei gehöriger Aufmerksamkeit auch schon beobachten kann, wenn dieselben im einfachen Mikroskope zur Anwendung kommen. Wenn man daher auch mit einer Linse, die z. B. 100 Mal vergrössert, leicht eine 1000malige Vergrösserung erreichen kann, indem der Schirm in 2,5 Meter Entfernung kommt, so hat dieses Bild doch nichts voraus vor einem zehnmal kleineren, welches in einer Entfernung von 25 Centimeter entsteht.

Ist nun auch aus diesen Gründen die starke Vergrösserung der Bildmikroskope nur geeignet, den Unkundigen zu täuschen, und können dieselben als Instrumente zu Untersuchungen kaum in Frage kommen, so haben sie doch den nicht unerheblichen Vorzug, dass sie vielen Zuschauern auf einmal ein vergrössertes Bild vorzuführen vermögen. Bei Vorlesungen und bei öffentlichen Demonstrationen erweisen sich daher die Bildmikroskope sehr nützlich, zumal wenn die Zuschauer früher oder später Gelegenheit bekommen, die Einzelnheiten jedes Objectes durch andere und bessere Mikroskope genauer zu beobachten.

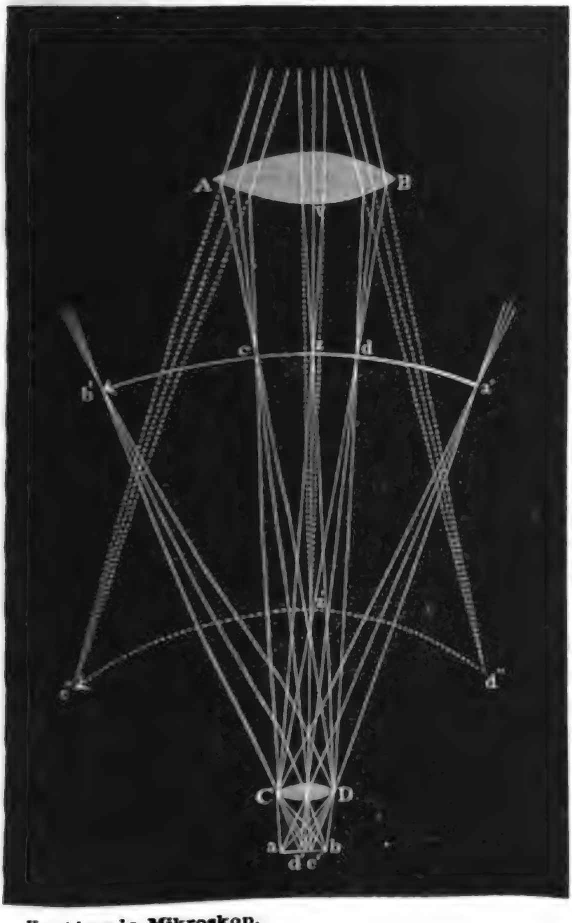
Drittes Kapitel.

Das zusammengesetzte dioptrische Mikroskop.

Vereinigt man die in den beiden vorhergehenden Kapiteln betrachteten **Mikroskope** zu Einem Instrumente, so erhält man das **zusammengesetzte dioptrische Mikroskop.** 146

Betrachten wir dasselbe zunächst in seiner allereinfachsten Form, deren optische Zusammensetzung in Fig. 64 dargestellt wird. Gleich ausserhalb des Brennpunktes der Linse *CD* befindet sich ein Object *ab*, von welchem Lichtkegel ausgehen; diese erzeugen auf der anderen Seite der Linse ein verkehrtes und vergrössertes Bild *b' a'*. Es ist ein in gekrümmter Fläche (§. 43) liegendes Luftbild, das gleich gut wie in einem Bildmikroskope sichtbar sein würde, wenn man es an dieser Stelle mittelst eines Schirmes auffinge. Um nun dieses Bild noch stärker vergrössert wahrzunehmen, betrachtet man dasselbe durch ein einfaches Mikroskop, welches hier durch die Linse *AB* dargestellt wird und mittelst deren die ins Auge eintretenden Strahlen jenen Grad von Divergenz erlangen, den sie besitzen würden, wenn das Object in der richtigen Deutlichkeitsentfernung *vz'* sich befände. Die dem Objecte

Fig. 64.



zugekehrte Linse nennt man **Objectivglas**, **Objectivlinse** oder einfach das **Objectiv**, jene Linse aber, vor welche das Auge gehalten wird, heisst **Augenglas** oder **Ocular**.

Aus Fig. 64 ist ferner zu entnehmen, dass, wenn der Durchmesser des Objectes ziemlich gross ist, sein Bild dann nicht mehr mit dem Ocular übersehen werden kann. Dies folgt aus dem, was über das Gesichtsfeld des einfachen Mikroskops gesagt worden ist (§. 121). Nur die Strahlen des zwischen *c* und *d* enthaltenen Bildabschnittes, welcher dem Stück *d' c'* des Objectes entspricht, erreichen die Linse und das Auge; die Strahlen dagegen, welche von den Strecken *cb'* und *da'* des Bildes kommen, gehen links und rechts an den Rändern der Linse vorbei. Verlängert man nun die durch das Ocular gebrochenen Strahlen, welche von den Punkten *c*, *z* und *d* des Bildes stammten, bis sie auf der anderen Seite der Linse *AB* wiederum zusammentreffen, dann werden diese zusammen mit den übrigen Vereinigungspunkten dort ein vergrössertes Scheinbild *c'' z' d''* des Bildabschnittes *czd* geben; dieses Scheinbild liegt in einer gekrümmten Ebene, deren Krümmung stärker ist als jene des wahren Bildes *b' a'*. Es folgt dies daraus, dass schon ein in gerader Ebene gelegenes Object, wie früher (§. 109) dargethan, ein Scheinbild mit aufwärts gerichteter Krümmung giebt, wenn es durch eine einzelne Linse betrachtet wird. Da nun hier die Ränder *c* und *d* des Bildes noch entfernter vom optischen Mittelpunkte der Linse *AB* liegen, als wenn das Bild in einer geraden Ebene befindlich ist, so folgt hieraus, dass die Aufwärtskrümmung in diesem Falle noch bedeutender sein muss. Ein aus quadratischen Maschen bestehendes Netz wird sich so wie in Fig. 52 (S. 96) darstellen.

147 Der Unterschied des Doublets vom zusammengesetzten Mikroskope in dessen einfachster Einrichtung ist daher folgender. Beim Doublet ist der gegenseitige Abstand beider Linsen kürzer als die Entfernung des Vereinigungspunktes der Strahlen der vorderen Linse: entsteht dagegen zwischen zwei Linsen ein Bild, welches von der hinteren oder oberen Linse weit genug entfernt ist, um durch dieselbe vergrössert wahrgenommen werden zu können, so hat man ein zusammengesetztes Mikroskop. Die letztere Bedingung ist aber unerlässlich; denn wenn das Bild zu nahe der vorderen Linse sich erzeugt, dann gelangen die Strahlen naher Objecte mit zu starker Divergenz ins Auge, und es entsteht kein Bild auf der Netzhaut, ausgenommen von solchen Objecten, die ziemlich entfernt von der vorderen Linse sind, d. h. man hat ein Teleskop statt eines Mikroskops. In der That haben beiderlei Instrumente in der Hauptsache ganz die nämliche Zusammensetzung und man kann das Teleskop ganz füglich ein Mikroskop für entfernte Gegenstände nennen. Auch ersieht man hieraus, wie es möglich ist, solche Instrumente, nämlich sogenannte **polydynamische** Mikroskope, zu verfertigen, die abwechselnd als Mikroskop und als Teleskop dienen können; es bedarf dazu weiter nichts, als dass, während die optische Zusammensetzung ganz unverändert bleibt, die Ent-

fernung zwischen dem Ocular und dem Objectivglase je nach der Entfernung des Objects verändert wird.

Da nun das Bild stets um so weiter hinter der Linse entsteht (§. 42), je näher das Object dem Hauptbrennpunkte ist, so muss man, wenn das Bild in die gehörige Entfernung vom Augenglase kommen soll, damit die Strahlen den gleichen Grad von Divergenz besitzen, wie jene, welche von Objecten aus der Entfernung der mittleren Sehweite ausgehen, die Entfernung zwischen dem Objectiv- und Ocularglase für nahe Objecte vergrössern, für entfernte dagegen verkürzen.

Es folgt hieraus ferner, dass man es in seiner Gewalt hat, die vergrössernde Kraft eines zusammengesetzten Mikroskops nach Willkür zu verstärken, indem man das Ocular vom Objectivglase entfernt und zugleich das Object näher an die Linse bringt, so dass das Bild stets in gleicher Entfernung vom Ocular bleibt. Dadurch nämlich wird das Bild immer grösser und grösser, ohne dass das Vergrösserungsvermögen des Oculars eine Veränderung erleidet, und wenn man daher die Stelle, wo sich das Bild vor dem Ocular formt, weiter entfernt vom Objectivglase rückt, so wird auch die vergrössernde Kraft des Mikroskops in gleichem Verhältnisse zunehmen.

Bei der Berechnung der vergrössernden Kraft eines zusammenge- 148
setzten Mikroskops von einfachster Einrichtung sind demnach zu berücksichtigen:

a. Die Brennweite des Objectivglases, weil davon die Stelle und die Grösse des Luftbildes abhängig ist. Das Bild ist bei einem wahren Mikroskope (mit Ausschluss der soeben mit einem Worte erwähnten polydynamischen oder teleskopischen Mikroskope) stets grösser als das Object, und letzteres befindet sich also (§. 42) immer zwischen dem Hauptbrennpunkte und der doppelten Brennweite der Linse.

b. Die Brennweite des Oculars.

c. Die mittlere Sehweite des Auges. Aus b und c lässt sich auf die oben (§§. 112 und 113) angegebene Weise zunächst die Stelle berechnen, welche das Luftbild einnehmen muss, um vergrössert und deutlich durch das Ocular wahrgenommen werden zu können, und auch die Vergrösserung dieses Bildes lässt sich daraus berechnen. Kennt man nun

d. die Distanz beider Linsen, dann weiss man auch, wie entfernt das Bild von der vorderen Linse ist, und mithin kennt man auch dessen Grösse. Diese letztere Entfernung nämlich hat man, wenn man von der Distanz der beiden Linsen die Entfernung des Bildes vom Ocular subtrahirt, die Grösse des Bildes aber erhält man, wenn man die Differenz zwischen der Entfernung des Bildes und der Brennweite der Linse mit der Brennweite dividirt und den Quotienten mit dem Durchmesser des Objectes multiplicirt (§. 131).

Die Gesammtvergrösserung erhält man dann, wenn man die Ver-

grösserung des Bildes mit jener durch das Ocular erreichten Vergrösserung multiplicirt.

Erläutern wir dies wieder durch ein Beispiel. Man wünscht die Vergrösserung eines Objectes zu berechnen, wenn folgende Grössenverhältnisse vorhanden sind:

Durchmesser des Objects	0,5^{mm}
Brennweite des Objectivglases	6 »
Brennweite des Oculars	30 »
Distanz der beiden Linsen	200 »
Mittlere Sehweite des Auges A (§. 67). . .	162 »

Nach §. 113 muss hier die Entfernung des Bildes vom Ocular $30 - \frac{900}{162 + 30} = 25{,}3^{mm}$ sein, und mithin liegt das Bild $200 - 25{,}3 = 174{,}7^{mm}$ hinter dem Objectivglase. Bei dieser Entfernung ist das Bild $\frac{174{,}7 - 6}{6} \,.\, 0{,}5 = 14{,}05^{mm}$ gross, und die Vergrösserung ist mithin eine 28,1fache.

Das Ocular vergrössert (§. 112) $\frac{162 + 30}{30} = 6{,}4$ Mal, und mithin ist die Gesammtvergrösserung $28{,}1 \,.\, 6{,}4 = 179{,}84$ Mal. Ein Object von 0,5^{mm} Durchmesser, durch ein solches Mikroskop angeschaut, würde also für einen, der die angegebene mittlere Sehweite hat, einen Durchmesser von 89,92^{mm} haben.

Aendert sich nun aber die mittlere Sehweite, so werden auch alle diese Zahlen andere. Führen wir z. B. die nämliche Berechnung für das Auge von B (§. 67) mit der mittleren Sehweite von 372^{mm} aus, so erhalten wir für die Entfernung des Bildes vom Ocular 27,8^{mm}, für die Entfernung zwischen Bild und Objectivlinse 172,2^{mm}, für die Vergrösserung des Bildes die Zahl 27,7 und für dessen Durchmesser 13,85^{mm}, also etwas geringere Werthe als im vorigen Falle. Dagegen vergrössert das Ocular für B 13,4 Mal, und dadurch erreicht die Zahl der Gesammtvergrösserung den hohen Werth von 371,18.

149 Bis jetzt haben wir der Einfachheit halber angenommen, es werde das Auge dicht ans Ocular angehalten. Das ist nun aber in der Wirklichkeit niemals der Fall. Das Auge oder richtiger die Pupille muss dahin zu liegen kommen, wo alle aus dem Mikroskope heraustretenden Strahlen sich im kleinsten Raume vereinigen, damit sie alle von der Pupille können aufgefangen werden. Diese Stelle ist demnach jene, wo das Bild des als Object angenommenen Objectivs entsteht, während das Augenglas die brechende Linse ist. Deshalb muss auch die Distanz zwischen der Pupille und dem Ocular stets grösser sein als die Brennweite des letzteren. Nach dem früher Mitgetheilten (§. 120) muss aber damit auch eine Abnahme der Vergrösserung verbunden sein, und somit

bedürfen die berechneten Werthe einer Correction. In dem angenommenen Falle beträgt die Distanz zwischen Objectiv und Ocular 200mm, die Brennweite des Oculars ist 30mm, mithin liegt die Pupille $\frac{200 \,.\, 30}{200 - 30}$ $= 35{,}3^{mm}$ hinter dem Ocular. Für eine mittlere Sehweite von 162mm ist daher die Entfernung des scheinbaren Bildes vom Ocular $162 - 35{,}3 = 126{,}7^{mm}$. Das Luftbild (wahre Bild), welches durch das Objectiv erzeugt wird, ist dann $30 - \frac{900}{126{,}7 + 30} = 24{,}3^{mm}$ vom Ocular entfernt, und der Abstand dieses Luftbildes vom Objectiv ist demnach $200 - 24{,}3 = 175{,}7^{mm}$. Berechnet man nach diesen Daten die Vergrösserung, so erhält man für das Objectiv eine 28,3fache, für das Ocular eine 5,2fache. Die Gesammtvergrösserung ist also 147,16 und nicht 179,84, welche letztere Zahl erhalten wird, wenn man die Stellung der Pupille ausser Acht lässt.

Die mittlere Sehweite des Auges ist auch nicht ohne Einfluss auf 150
die Entfernung, in welcher sich das Object von dem Objective befinden muss, wenn das Bild an der gehörigen Stelle vor dem Ocular entstehen soll. Wenn nämlich die Distanz beider Linsen unverändert bleibt, dann wird der Kurzsichtige, dessen Auge eine stärkere Annäherung des Bildes zum Ocular verlangt, dafür sorgen müssen, dass der grösseren Entfernung des Luftbildes vom Objectiv eine geringere Distanz zwischen Object und Objectiv entspricht. Diese letztere Distanz wird durch einen Quotienten ausgedrückt, worin das Product der Bildentfernung und der Brennweite durch deren Differenz dividirt wird; für A beträgt sie im vorstehenden Falle

$$\frac{174{,}7 \,.\, 6}{174{,}7 - 6} = 6{,}214^{mm}, \text{ für B aber } \frac{172{,}2 \,.\, 6}{172{,}2 - 6} = 6{,}216^{mm}.$$

Hat eine Objectivlinse nur 6mm Brennweite oder selbst noch weniger, dann ist der Unterschied ($^1/_{500}$ mm) freilich nur gering und nur von geringem Einfluss auf das Deutlichsehen solcher Personen, deren Augen eine verschiedene Sehweite besitzen. Auch lehrt die Erfahrung, dass bei zunehmender Vergrösserung durch Anwendung stärkerer Objective die Stellung des zusammengesetzten Mikroskopes für verschiedene Augen weniger verändert zu werden braucht, während dieses doch bei schwächeren Vergrösserungen sehr nöthig ist. Vertauschen wir z. B. das Objectiv von 6mm Brennweite mit einem anderen, welches 20mm Brennweite hat, dann muss die Entfernung des Objectes von der Objectlinse 22,585mm für A und 22,628mm für B betragen. Hier beträgt die Differenz etwa $^1/_{23}$ mm, was schon ganz merklich ist.

Im Bisherigen ist die Theorie des zusammengesetzten Mikroskopes 151
schon in ihren Hauptzügen angegeben worden. Doch fehlt noch viel daran, dass ein Instrument von solcher meist einfacher Einrichtung sich zu genauen und sorgfältigen Beobachtungen eignen sollte. Seine Unvollkommenheiten lassen sich auf folgende drei Punkte zurückführen:

a. Sein Gesichtsfeld ist sehr klein, wie schon aus Fig. 64 zu entnehmen ist, wo nur ein Theil der Strahlen, welche vom Objecte auf das Objectiv treffen, das Auge erreicht.

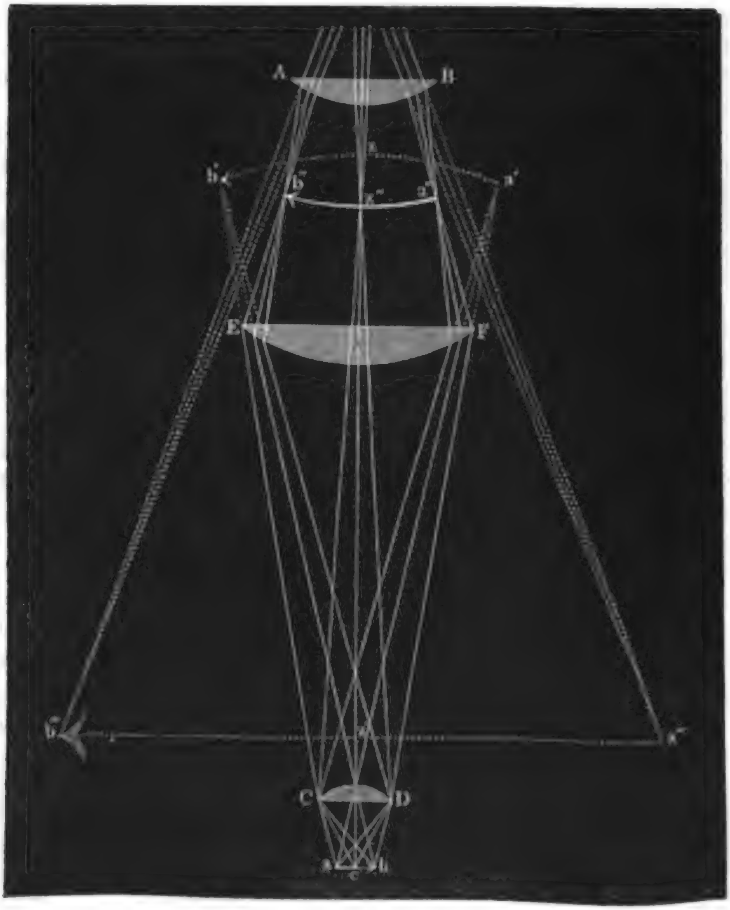
b. Die Ebene, in welcher das Scheinbild liegt, ist stark gekrümmt, und die Gestalt des Bildes stimmt daher nicht mit jener des Objectes.

c. Ein solches aus zwei Linsen bestehendes Mikroskop theilt in hohem Grade alle die Mängel, welche eine Folge der sphärischen sowohl als der chromatischen Aberration sind.

Betrachten wir daher jetzt die Mittel, welche angewendet werden, um das zusammengesetzte Mikroskop von diesen Unvollkommenheiten zu befreien und wodurch es schon einen Grad von Vollkommenheit erreicht hat, den man vor mehreren Jahren kaum noch hätte erwarten dürfen.

152 Unter diesen Mitteln kommen auch solche vor, die schon seit langer Zeit im Gebrauche gewesen sind. Dazu gehört das Einschieben einer dritten Linse (Fig. 65), in solcher Entfernung von den beiden anderen,

Fig. 65.



dass das Bild des Objectes zwischen dieser eingeschobenen Linse und dem Ocular entsteht. Diese eingeschobene Linse bewährt sich in mehr denn Einer Hinsicht nützlich.

Zunächst vereinigt sie die Strahlen wieder, welche, wie aus der Figur zu entnehmen ist, vom Objecte ausgehen. Ohne die Linse *EF* würde das Bild in *b'a'* sich gebildet haben; durch diese Linse hingegen werden die Strahlenkegel *Cb'D*, *Da'C* und alle übrigen, welche zur Formation des Bildes beitragen, nach innen gebogen, so dass ein anderes Bild *b''a''* entsteht. Dasselbe ist zwar kleiner als *b'a'* sein würde, allein es kann vollständig durch das Ocular *AB* übersehen werden, oder was das Nämliche ist, das ganze Object *ab* liegt nun im Gesichtsfelde, nicht blos ein Theil desselben, wie *d'c'* in Fig. 64. Das Mikroskop wirkt daher weniger vergrössernd, nämlich um soviel als das Bild *b''a''* kleiner ist als *b'a'*, das Gesichtsfeld aber ist grösser geworden in Folge der Sammlung der Strahlen, wovon ein Theil unbenutzt verloren ging. Diesem zumeist ins Auge fallenden Nutzen verdankt diese eingeschobene Linse den Namen Sammelglas oder Collectivglas.

Sodann nützt das eingeschobene Glas dadurch, dass die Lichtstärke des Bildes zunimmt. Alle Strahlen nämlich, die zur Bildung von *b'a'* gedient haben würden, werden in dem kleineren Bilde *b''a''* vereinigt, und da die Lichtstärke im umgekehrten quadratischen Verhältnisse der Durchmesser der Bilder zunimmt, so wird das Bild *b''a''*, wenn es z. B. nur halb so gross wäre wie *b'a'*, viermal heller sein, wenn wir zunächst von dem geringen Verluste in Folge der Reflexion und der Absorption absehen.

Ferner wirkt das Collectivglas sehr vortheilhaft dadurch, dass es die Krümmung des scheinbaren Bildes beseitigt oder, wie man sich gewöhnlich ausdrückt, das Gesichtsfeld ebnet. Der Grund dieser Wirkung wird ersichtlich, wenn wir im Auge behalten, dass die Distanz zwischen dem mittleren Theile der Linse *EF* und der Mitte des Objectives *CD* kleiner ist, als zwischen den Rändern beider Linsen. Die Strahlen, welche von dem in der optischen Axe gelegenen Punkte *c* ausgehen, treffen daher früher auf die Oberfläche der Linse *EF* als jene, welche von den Punkten *a* und *b* am Umfange des Objectes ausgehen. Die nothwendige Folge hiervon ist, dass jene in der Nähe der Axe durchtretenden Strahlen sich früher wieder vereinigen werden, nämlich in *c''*, als jene Strahlen, welche in mehr schiefer Richtung auf die Linsenoberfläche fallen, und deren äusserste Vereinigungspunkte deshalb etwas entfernter in *b''* und *a''* liegen werden. Somit hat das zweite Luftbild *b''a''* die entgegengesetzte Krümmung von dem ersten *b'a'*, und da nun hierdurch die Ränder *b''* und *a''* des zweiten Luftbildes dem optischen Mittelpunkte des Oculars *AB* näher sind, so muss nach dem oben (§. 109) Entwickelten, wenn die Krümmungen des Collectivs und des Oculars in einem gewissen Verhältniss zu einander stehen, jenes durch das Ocular wahrgenommene Scheinbild *b'''a'''* nicht gebogen, sondern in gerader

Ebene erscheinen. Ein Netz quadratischer Maschen wird sich so wie in Fig. 51 (S. 96) darstellen.

Einen zwar weniger ins Auge fallenden, aber nicht weniger erheblichen Dienst leistet dann das Collectivglas dadurch, dass es beide Aberrationen verbessert. Dass eine solche Verbesserung statt haben muss, lässt sich in gleicher Weise darthun, als es §. 126 für die Verbindung zweier Linsen zu einem Doublet bereits geschehen ist. Zwischen dem Collectivglase und dem Ocular findet auch eine Kreuzung der Lichtstrahlen statt, und aus dem dort Angeführten entnimmt man deutlich, dass, da die violetten Strahlen immer auf stärker brechende Theile des Oculars treffen, die verschiedenfarbigen Strahlen sich immer mehr nähern müssen, so dass sie ins Auge in einer solchen relativen Richtung hineintreten, die sich dem parallelen Zustande oder dem des weissen Lichtes mehr nähert als wenn kein Collectivglas vorhanden ist. Dasselbe gilt aber auch von der sphärischen Aberration; auch diese wird verbessert, weil, wie schon aus Fig. 65 zu entnehmen ist, jene Strahlen, welche im Collectivglase EF zunächst dem Rande durchgehen, das Ocular AB näher der Axe treffen, und umgekehrt. Die Aberrationen beider Linsen wirken demnach im entgegengesetzten Sinne, und bis zu einem gewissen Punkte hin können sie einander beiderseits aufheben.

Die Theorie lehrt, dass diese Verbesserung am vollkommensten ist, wenn das Collectivglas eine dreimal so grosse Brennweite hat als das Ocular, und wenn ihre wechselseitige Distanz der Verdoppelung der Ocularbrennweite gleichkommt, so dass die Brennweite des Collectivs, die Distanz zwischen Collectiv und Ocular und die Brennweite des Oculars sich wie 3, 2 und 1 zu einander verhalten. Wir werden später sehen, dass in den aplanatischen Mikroskopen diese Entfernungen einige Modificationen erfahren können, entsprechend dem Grade der Verbesserung der Objective.

153 Da das Einschieben des Collectivglases eine Verkleinerung des Bildes mit sich bringt, so ergiebt es sich von selbst, dass das in §. 148 angegebene Verfahren, mittelst dessen man die Vergrösserung eines zusammengesetzten Mikroskopes, welches nur aus einem Objectiv und einem einfachen Ocular besteht, ausfindig macht, einer Abänderung bedarf. Man muss nämlich die Brennweite berechnen für eine einzige Linse, die eben so wirkt, wie die Vereinigung des Collectivs und Oculars. Kennt man die Brennweite einer solchen äquivalenten Linse und folglich auch ihre vergrössernde Kraft, dann lässt sich die Gesammtvergrösserung leicht ausfindig machen, wenn man so wie früher die Grösse des Luftbildes, welches ohne vorhandenes Collectiv entstanden sein würde, mit dem Vergrösserungswerthe der äquivalenten Linse multiplicirt.

Die Brennweite einer äquivalenten Linse ist $= \frac{p p'}{p + p' - d}$, wenn p die Brennweite des Collectivs, p' die Brennweite des Oculars und d die Distanz der beiden Linsen bezeichnet: mit anderen Worten, man

multiplicirt die Brennweiten des Collectivs und des Oculars mit einander, und in dieses Product dividirt man mit der Summe beider, weniger die Distanz beider Linsen. Rechnen wir z. B. die Brennweite des Collectivs zu 30^{mm}, jene des Oculars zu 10^{mm} und beider Distanz zu 20^{mm}, so ist die Brennweite der äquivalenten Linse $\frac{30 \cdot 10}{30 + 10 - 20} = 15^{mm}$, und verhält sich zu jener des Oculars wie 3 zu 2. Daraus folgt dann, dass, wenn die Brennweiten und die Distanz der beiden Linsen das hier angenommene Verhältniss haben, wobei die Aberrationen am stärksten verbessert werden, durch das Collectivglas das Bild gerade auf $^2/_3$ verkleinert wird, also auch das ganze Mikroskop nur $^2/_3$ jener Vergrösserung gewährt, die es bringen würde, wenn das Collectivglas weggenommen und das Bild nur durch das Ocular betrachtet würde.

Bringt man das Ocular und das Collectiv einander näher, so nimmt die vergrössernde Kraft zu. Wären die obigen Linsen einander bis auf 15^{mm} genähert, dann würde die Brennweite der äquivalenten Linse 12^{mm} betragen. Ist ihre wechselseitige Distanz noch kleiner als die Brennweite des Oculars, dann übertrifft ihre Gesammtwirkung jene des Oculars allein. Bei einer Distanz von 5^{mm} z. B. würde die Brennweite der äquivalenten Linse $= 8{,}6^{mm}$ sein. Aber in einem solchen Falle liegt das Bild nicht mehr zwischen den beiden Linsen, sondern vor dem Collectivglase, und es ist eigentlich eine andere Einrichtung des Oculars entstanden, wovon später noch näher gesprochen werden soll.

Wenn auch das Einschieben eines Collectivs bereits als eine bedeu- 154
tende Verbesserung angesehen werden muss, so ergiebt sich doch aus dem, was schon einige Male über die Vorzüge der Linsensysteme vor einzelnen Linsen gesagt worden ist, dass man die Verbesserung noch weiter treiben kann, wenn man statt der einzelnen Linsen passende Combinationen wählt. Jedes der drei zusammensetzenden Gläser kann durch ein System von zwei oder mehr Linsen ersetzt werden, die zusammen wie eine einzige Linse wirken, deren Krümmungen und Abstände aber so eingerichtet sind, dass durch ihre vereinigte Wirkung die Aberrationen vermindert werden. In der That giebt es eine grosse Anzahl möglicher Combinationen und viele davon sind aus theoretischen Gründen vorgeschlagen oder praktisch ausgeführt worden. Es würde uns zu weit führen, wollten wir auf jede einzelne näher eingehen; auch würde es hier nicht einmal ganz passend sein, weil eine Anzahl derselben bereits der Geschichte anheimgefallen ist. Die früheren Bestrebungen einer Verbesserung des zusammengesetzten Mikroskopes und die neueren unterscheiden sich nämlich hauptsächlich darin, dass man früherhin durch die Stellung des Oculars und des Collectivs die Verbesserung zu erreichen suchte, während man jetzt eingesehen hat, dass die Art dieser Stellung auf die genaue Wirkung eines Mikroskopes allerdings nicht ohne Einfluss ist, es aber doch weit mehr darauf ankommt, dass schon das erste vergrösserte Bild grossentheils frei von Aberrationen ist. Sind die Aberra-

tionen einmal wirksam, so lassen sie sich allerdings wohl durch das Ocular und Collectiv noch etwas verbessern, doch immer nur auf eine sehr beschränkte Weise.

155 Ich wende mich jetzt zur Betrachtung der optischen Einrichtung der neueren Mikroskope, und hier kommt zunächst die Einrichtung ihres wichtigsten Theils, des Objectivs, in Betracht.

Wir haben oben (§. 61) gesehen, dass durch die Vereinigung einer biconvexen Kronglaslinse mit einer planconcaven oder biconcaven Flintglaslinse eine Doppellinse erhalten wird, durch welche die chromatische sowohl als sphärische Aberration eine entschiedene Besserung erfahren, wenn beide Linsen in einem passenden Verhältniss zu einander stehen. Wir haben aber auch gesehen (§. 64), dass aus besonderen Gründen die Aberration durch diese Verbindung niemals vollständig aufgehoben werden kann. Eine solche achromatische Doppellinse verdient deshalb allerdings den Vorzug vor einer gewöhnlichen Linse, selbst vor einer Linse der besten Form, wenn sie für sich allein als Objectiv benutzt wird. Allein die Verbesserung der Aberration wird doch nur auf unvollkommene Weise damit erreicht und ausserdem ist es sehr schwer, solche achromatische Doppellinsen mit sehr kurzer Brennweite anzufertigen.

Man würde deshalb die Vergrösserung hauptsächlich durch stärkere Oculare zu erreichen suchen müssen oder dadurch, dass man das Mikroskop länger macht. In diesen beiden Mitteln hat man aber immer nur sehr unvollkommene Aushülfen und man erreicht dabei sehr bald Grenzen, die nicht überschritten werden können, ohne dass die Schärfe des an Grösse allerdings noch zunehmenden Bildes so sehr verliert, dass man von seinen Einzelnheiten weniger wahrzunehmen im Stande ist, als bei einer schwächeren, dabei aber scharfen Vergrösserung. Wo demnach nur eine schwache Vergrösserung erforderlich ist, da sind einzelne achromatische Doppellinsen immer noch anwendbar, weil sie den grossen Vortheil gewähren, dass sie eine weite Oeffnung gestatten und also viel Licht durchlassen. Sobald aber eine irgend bedeutende Vergrösserung benutzt werden muss, dann verliert dieser Vorzug viel von seinem Werthe.

Glücklicher Weise giebt es ein Mittel, um sowohl die vergrössernde Kraft der achromatischen Doppellinsen zu erhöhen, als auch die Aberrationen noch weiter zu verbessern: man muss sie nämlich zu Systemen vereinigen. Was das erste betrifft, die zunehmende Vergrösserung nämlich durch eine derartige Vereinigung, so gilt hier ganz das Nämliche, was früher (§. 125) über Doublets und Triplets im Allgemeinen gesagt worden ist. Ueber den zweiten Punkt dagegen, die weitere Verbesserung der Aberrationen, muss ausser dem dort Angeführten noch etwas Näheres zur Aufklärung mitgetheilt werden.

156 Weiter oben (§. 64) stellte es sich heraus, dass jede Doppellinse nur für zwei in der optischen Axe gelegene Punkte wirklich aplanatisch ist, und dass die von allen anderen dazwischen oder ausserhalb gelegenen Punkten ausgehenden Strahlenbündel überverbessert oder unterver-

bessert werden. Denken wir uns nun (Fig. 66), der entferntere aplanatische Brennpunkt der Doppellinse *A* sei in *a*, so wird die Linse für das von dort ausgehende Strahlenbündel vollkommen verbessert sein, für jene Strahlen dagegen, welche von höher gelegenen Punkten (bis zu dem hier nicht in Betracht kommenden kürzeren aplanatischen Brennpunkte hin) ausgehen, ist sie überverbessert, und für jene von tieferen Punkten ausgehenden Strahlen unterverbessert. Bringt man dann vor diese Doppellinse eine andere Linse *B*, und zwar dergestalt, dass die von ihrem kürzesten aplanatischen Brennpunkte *b* ausgehenden Strahlen an der aufwärts sehenden Fläche bei *c* mit jenen Strahlen zusammentreffen, welche von dem entfernteren aplanatischen Brennpunkte der Linse *A* ausgehen, dann heben die entgegengesetzten Aberrationen beider Linsen einander wechselseitig auf, und so geschieht es, dass ihre Vereinigung von Strahlenbündeln, welche von verschiedenen Punkten der optischen Axe ausgehen, immer von Aberration frei ist. — Werden die beiden Doppellinsen einander mehr genähert, so dass z. B. *A* in *A'* zu liegen kommt, der entferntere aplanatische Brennpunkt dieser Linse also in *a'* sich befindet, dann wird das Strahlenbündel, welches nach dem Durchgange durch die Linse *B* mit jenem von *a'* kommenden Strahlenbündel zusammenfällt, nicht mehr dem kürzeren aplanatischen Brennpunkte *b* der Linse *B* entsprechen, sondern dem ferner liegenden Punkte *b'*, der zwischen ihren beiden aplanatischen Brennpunkten gelegen ist, und mithin wird das System alsdann überverbessert sein. Werden dagegen die Doppellinsen *A* und *B* weiter von einander entfernt, dann entsteht eine Unterverbesserung.

Fig. 66.



Aus dieser zuerst von Lister (Philos. Transact. 1830. p. 198) gegebenen Erklärung über Verbesserung der Aberration in den aus achromatischen Doppellinsen bestehenden Systemen ersieht man, dass bereits durch die Vereinigung von nur zwei solchen Linsen die Aberration grossentheils beseitigt werden kann. Zu stärkeren Vergrösserungen benutzt man aber mit Vortheil Systeme von drei Linsen, die dann wiederum in solche Distanz von einander gebracht werden, dass ihre besonderen Aberrationen gegenseitig einander aufheben. Nach Lister's Erfahrung ist es zweckmässig, durch die unterste Linse ein etwas unterverbessertes Lichtbündel aufzufangen, das dann durch die mittlere Linse überverbessert wird. In der Regel wird

man daher auch bei Linsensystemen, welche aus den besten Werkstätten kommen, finden, dass die Flintglaslinse der untersten stärkst vergrössernden Doppellinse planconcav ist, während bei der zweiten, und falls es ein Triplet ist, bei der zweiten und dritten, oder wohl bei der dritten allein, auch die nach aussen gekehrte Oberfläche der Flintglaslinse etwas concav ist, so dass die Doppellinse einen convergirenden Meniskus darstellt, an welchem der Einfluss der biconcaven Flintglaslinse etwas überwiegt.

157 Das Auffinden der gehörigen Entfernung zwischen den Doppellinsen ist, wie bereits bei Gelegenheit ihrer Anfertigung bemerkt wurde, mehr ein Werk der Geduld und des wiederholten, durch praktische Erfahrung unterstützten Versuchens, als einer vorgängigen Berechnung, die zwar allerdings einige beachtenswerthe Winke geben kann, niemals aber mit solcher Sicherheit und Genauigkeit auf die Anfertigung mikroskopischer Objective einzuwirken im Stande ist, wie bei teleskopischen Objectiven. Die Ursache davon liegt nicht in einem Mangel verlässlicher theoretischer Gründe, auf welche die Berechnungen sich zu stützen haben, sondern darin, dass bei dem grossen Einflusse, den die geringste Verschiedenheit in der Form und im gegenseitigen Abstande der Linsen auf deren Gesammtwirkung äussert, kein Arbeiter ein Linsensystem anzufertigen vermag, welches den im Voraus berechneten Bedingungen vollkommen entspricht. Lister (a. a. O. p. 197) erzählt, dass er eine Kronglaslinse und eine Flintglaslinse hatte, bei denen die gewölbte Oberfläche der einen so genau in die Aushöhlung der anderen sich legte, dass an der Stelle der Vereinigung die bekannten Farben dünner Schichten sich zeigten, und als dann eine Schicht Canadabalsam zwischen beide Linsen gebracht wurde, die so dünn war, dass diese Farben dadurch nicht weggenommen wurden, so verursachte dies doch schon eine recht auffallende Veränderung im Grade der sphärischen Aberration. Wo nun solche ganz unbedeutende Differenzen schon von Einfluss sind, da werden natürlich auch die besten Berechnungen in der Ausführung nicht ausreichen.

Aus dem Angeführten lässt sich zugleich die Folgerung ziehen, dass Mikroskope, welche aus einer und derselben Werkstatt kommen, doch nicht vollkommen gleich unter einander sein können, wenn auch ihre äussere Form und die mechanische Einrichtung vollkommen die nämlichen sind. Die Röhren, der Objecttisch, die Räder- und Schraubenbewegungen, der Spiegel u. s. w. können alle nach feststehenden Modellen verfertigt werden und es ist dazu nicht mehr Zeit und Geduld erforderlich, als zu jeder anderen feinen Handarbeit; — bei Anfertigung von Doppellinsen und deren genauer Vereinigung zu Systemen lassen sich jedoch früher verfertigte Doppellinsen und Systeme kaum als Modelle benutzen. Man muss immer wieder von vorn mit Probiren anfangen, bis man die erzielte Wirkung erreicht, oder richtiger, bis der Arbeiter glaubt, die erlangte Verbesserung sei eine ausreichende im Verhältniss zu dem Preise, den er für seine Mühe und ausdauernde Geduld empfängt.

Denn es braucht kaum gesagt zu werden, dass eine ganz vollkommene Verbesserung nicht erreicht werden kann und dass als das beste Linsensystem nur jenes zu erachten ist, worin die Verbesserung der beiden Aberrationen der vollständigen Beseitigung derselben am nächsten kommt *).

Ich glaubte hier mit einigen Worten andeuten zu müssen, wie mühsam noch gegenwärtig das Verfertigen von Objectivsystemen ist und allem Anschein nach wohl stets sein wird, weil es mir vorgekommen ist, als seien unrichtige Vorstellungen darüber sehr verbreitet, indem man sich z. B. wundert, dass die kleineren und weniger theuer bezahlten Mikroskope des nämlichen Optikus nicht immer mit gleich guten Linsensystemen versehen sind, wie die grösseren aus der nämlichen Werkstätte. Bedenkt man aber, wie viel Zeit jedes einzelne System verlangt, wenn es auf einen verhältnissmässigen Grad von Vollkommenheit gebracht werden soll, dann muss man sich weit eher darüber wundern, dass um den geringen Preis, wofür solche kleine Mikroskope gegenwärtig zu haben sind, noch so gute Instrumente geliefert werden, und dass sie sich nicht noch weit auffallender unterscheiden von den grösseren und theureren, für welche der Optikus, wie sich von selbst versteht, seine bestgelungenen Linsensysteme aufspart. Auch mag das Angeführte zur Erklärung dienen, warum in der Regel zwischen der Bestellung und dem Empfange eines Mikroskopes eine längere Zeit verstreicht, und zugleich einigermaassen zur Warnung, dass man den Optikus nicht zu sehr drängt. Denn für keine Zubereitung passt wohl das Festina lente mehr, als für die Anfertigung von Objectivsystemen.

Es giebt zwei Hauptmethoden, nach denen die Linsen zu Systemen 158
verbunden werden. Die erste und ältere Methode ist die, dass die einzelnen Doppellinsen, nach ihrer Stärke gewöhnlich mit 1, 2, 3, 4 u. s. w. numerirt und auf einander geschraubt werden, so dass 1 + 2, 1 + 2 + 3, 2 + 3 + 4 u. s. w. die passenden Combinationen sind, um ein System zu bilden. Besser jedoch ist die jetzt mehr und mehr in Gebrauch kommende Methode, nach welcher jene Doppellinsen, die ein System ausmachen, in andauernde Verbindung mit einander gebracht werden. Allerdings vermehrt sich hierdurch die Anzahl der einzelnen Linsen für eine gleiche Zahl von Combinationen und es steigt mithin der Preis des Apparates. Dies wird aber wiederum reichlich aufgewogen durch die grössere Vollkommenheit, die einem jeden für sich bestehenden Systeme zu Theil werden kann, sowie durch die grössere Leichtigkeit im Wechseln der Objective.

---

*) Als bei einem Besuche Oberhäuser's das Gespräch auch auf diesen Gegenstand kam, theilte er mir mit, dass er Ein Linsensystem besässe, das er schon vor vielen Jahren angefangen und aus seinem stets zunehmenden Linsenvorrathe fortwährend zu verbessern sich habe angelegen sein lassen, und woran er noch immer verbessere. Er nannte dieses System mit Recht ein unbezahlbares.

Was die verhältnissmässige Ordnung betrifft, in welcher die Linsen auf einander folgen, so nimmt man allgemein und mit Recht als Regel an, dass die stärksten, also die kleinsten Linsen dem Objecte zugekehrt sein müssen. Es verdient diese Stellung aus einem doppelten Grunde den Vorzug. Zunächst ist der Brennpunkt oder die Stelle des Objectes alsdann weiter von der untersten Linse entfernt (§. 125), und zweitens ist diese Stellung auch für die Helligkeit des Bildes die vortheilhafteste, wie man aus folgender Betrachtung leicht entnehmen kann. Bei der entgegengesetzten Stellung der Linsen nämlich würde ein grosser Theil der Strahlen, welche durch die erste grössere Linse hindurchgehen, durch die darüber befindliche kleinere Linse nicht durchgelassen werden können; ist dagegen die kleinste Linse nach unten befindlich, dann können die Oeffnungen der auf einander folgenden Linsen sich dergestalt zu einander verhalten, dass alle Strahlen, welche die vordere Fläche der dem Objecte zugekehrten Linse treffen, an der hintersten Fläche wieder heraustreten, wie man aus Fig. 67 sogleich ersieht. In der That erlangen die aplanatischen Linsensysteme dadurch, dass sie eine grosse Oeffnung zulassen, den wesentlichsten Vorzug vor jenen Objectiven, die aus einer einzigen Linse bestehen; denn diesem Umstande vornehmlich verdanken unsere neueren Mikroskope, wie später gezeigt werden soll, jene Eigenschaft, die man mit dem Namen der durchdringenden oder penetrirenden Kraft belegt hat.

Fig. 67.



159 Wenden wir uns jetzt zur näheren Betrachtung der übrigen optischen Einrichtung, welche mit der Anwendung aplanatischer Linsensysteme zu Objectiven im Zusammenhange steht.

Ich habe schon weiter oben (§. 152) darauf hingewiesen, dass das Collectivglas und das Ocular nicht ganz ohne Einfluss auf die beiden Aberrationen sind. Schon daraus ist zu entnehmen, dass ihre vereinigte Wirkung eben sowohl einen nachtheiligen als einen vortheilhaften Einfluss auf die Schärfe des Scheinbildes auszuüben vermag, und dass mithin ein genaues relatives Verhältniss zwischen ihnen und dem Objectiv in Frage kommen muss, wenn es sich um die Erreichung des höchsten Grades von Vollkommenheit handelt, deren das zusammengesetzte Mikroskop fähig ist. Hier sind nun eine Anzahl Fälle möglich, die wir der Reihe nach betrachten wollen.

Bei unseren neueren Mikroskopen ist in der Regel, um die Vertauschung leichter zu machen, jedes Ocular mit dem zugehörigen Collectivglase in eine gemeinschaftliche Fassung eingesetzt, und das Ganze nennt man, freilich nicht ganz richtig, das Ocular.

Bei oberflächlicher Betrachtung erscheint es am passendsten, wenn man, um beide Aberrationen vollständig aufzuheben, die Objectivsysteme sowohl als die beiden das Ocular zusammensetzenden Linsen möglichst aplanatisch macht, und deshalb auch für das Ocular achromatische Doppellinsen benutzt. Manche Optiker haben auch solche aplanatische Oculare zu ihren Mikroskopen verwendet, aber immer nur für mässige Vergrösserungen und mit einem sehr kleinen Gesichtsfelde. Aus dem Nachfolgenden wird sich aber ergeben, dass solche Oculare, wenn sie abwechselnd mit anderen gebraucht werden sollen, niemals ganz aplanatisch sein dürfen, da gerade in den Aberrationen des Oculars ein Mittel geboten ist, die Aberrationen des Objectives zu beseitigen, wenn diese im entgegengesetzten Sinne statt haben.

Um dies deutlich zu machen, muss ich daran erinnern, dass bei der sphärischen Aberration der Brennpunkt der Randstrahlen der Linse näher liegt, als jener der Axenstrahlen (§. 48), und dass bei der chromatischen Aberration der Brennpunkt der stärker brechenden violetten Strahlen sich näher der Linse befindet, als die Brennpunkte der übrigen farbigen Strahlen (§. 53). Soll nun durch das Ocular ein Scheinbild wahrgenommen werden, welches so viel als möglich aus einer Vereinigung aller farbigen Strahlen besteht, dann muss die Ordnung der einzelnen auf einander folgenden Bilder (§. 56 und 152) umgekehrt werden, d. h. jene Bilder, welche bei einem nicht verbesserten Objectivglase dem Ocular zunächst würden zu liegen kommen, müssen nun am weitesten von dem Ocular entfernt bleiben. Mit anderen Worten: das Objectivsystem, wenn es in einem zusammengesetzten Mikroskope zur Anwendung kommt, darf nicht vollkommen aplanatisch, es muss vielmehr etwas überverbessert sein.

Zur Aufhellung des Gesagten diene Fig. IX. Es ist hier die optische Einrichtung des von **Huygens** zuerst für Fernröhre empfohlenen Oculars *) dargestellt, dass aber jetzt allgemein bei den neueren Mikroskopen in Anwendung kommt. *AB* ist das Ocular, *CD* das Collectiv; beide sind planconvex und ihre gewölbten Flächen sehen nach unten, was keineswegs gleichgültig ist. Für das Collectiv ergiebt sich die Nützlichkeit dieser Stellung aus der im §. 152 gegebenen Erklärung der Weise, wie dieses Glas der Krümmung des Bildes entgegenwirkt. Für das Ocular könnte es bei oberflächlicher Betrachtung zwar geeigneter erscheinen, wenn seine ebene Fläche dem Luftbilde zugekehrt wäre, weil dann die sphärische Aberration merklich geringer ist (§. 52). Dass dies aber hier keinen Vortheil bietet, davon kann sich jeder, der ein Mikro-

*) In roherer Form, wo es aus zwei biconvexen Linsen besteht, heisst es **Campani's** Ocular. Auch nennt man es das **negative Ocular**, im Gegensatz zum Ocular von **Ramsden** oder zum **positiven Ocular**, von dem später die Rede sein wird.

skop mit einem solchen Ocular besitzt, überzeugen, wenn er die oberste Linse umkehrt. Ist das Mikroskop gut, dann wird ihm das Resultat entgegentreten, dass das Feld kleiner, weniger geebnet und das Bild weniger scharf wird, weil bei einem richtigen Verhältniss zwischen den entgegengesetzten Aberrationen des überverbesserten Linsensystems und des nicht verbesserten Oculars die Bilder gerade in jene Entfernung vom Ocular zu liegen kommen, die nöthig ist, damit dieselben vereinigt auf die Netzhaut auffallen. Für die chromatische Aberration ist dies in der Figur angedeutet. Wäre nicht das Collectivglas *CD* angebracht, so würden durch ein überverbessertes Objectivsystem eine Anzahl farbiger Bilder entstehen, von denen *a* als das entfernteste und grösste violet, *b* als das nächste und kleinste roth sein würde. Das Collectivglas erzeugt keine Veränderung in der Ordnung der Bilder, nur liegen sie etwas näher bei einander in *c* und *d*. Ist nun die Distanz zwischen diesen farbigen Bildern und dem Ocular der Art, dass das violette Bild *c* etwas nach innen von *v*, der Brennweite desselben für violette Strahlen, liegt, und das rothe Bild *d* etwas nach innen von *r*, der Brennweite desselben für rothe Strahlen, dann werden die von den Bildern divergirend ausgehenden farbigen Strahlen, nachdem sie durch die Linse gebrochen worden sind, als parallele ins Auge treten, d. h. also (abgesehen von den jederzeit übrig bleibenden Farben des secundären Spectrums [§. 62]) als weisses Licht.

Auf ähnliche Weise lässt sich auch nachweisen, dass die sphärische Aberration des Oculars gerade dazu dienen kann, die auf einander folgenden Bilder zu vereinigen, welche durch ein für sphärische Aberration überverbessertes Linsensystem erzeugt werden. Dazu wird nur erfordert, dass der Abstand der am meisten von einander entfernten Bilder der Länge der sphärischen Aberration des Oculars gleich sei, so dass das oberste und grösste Bild etwas innerhalb des Brennpunktes für den Randtheil des Oculars, das unterste oder kleinste Bild etwas innerhalb des Brennpunktes für den Mitteltheil desselben zu liegen kommt. Nach dem Durchgange der Strahlen durch das Ocular werden sich dann die früher gesonderten Bilder zusammen zu einem Bilde auf der Netzhaut vereinigen.

160 Aus dem eben Angeführten ergiebt sich soviel, dass man, wenn die durch das Ocular zu erreichende Verbesserung eine möglichst vollkommene sein soll, sein Ziel dahin richten muss, dass der wechselseitige Abstand der Extreme beider Bildarten genau entsprechend sei der Länge der beiden Aberrationen. Sind die Bilder zu weit von einander entfernt, dann behält das Objectivsystem einen überwiegenden Einfluss und die Lichtbündel sind noch überverbessert, wenn sie das Ocular verlassen; ist dagegen die Aberrationslänge des Oculars grösser als der Abstand der Bilder, dann werden diese unterverbessert. Dabei darf man allerdings nicht vergessen, dass die Längen der beiden Aberrationen nicht ganz gleich sind, so dass, wenn für eine das Maximum der Verbesserung

erreicht ist, die andere noch unterverbessert oder schon überverbessert sein kann. Doch lässt sich immer ein gewisses mittleres Verhältniss ausfindig machen, welches dem Zwecke am besten entspricht.

Es würde nun eine sehr mühevolle Aufgabe sein, sollten das Ocular- und das Objectivsystem immer so genau zu einander passen, dass ihre wechselseitigen entgegengesetzten Aberrationen einander genau aufheben. Auch würde dann jedes Objectivsystem nur mit einem einzigen Oculare zu den besten Resultaten führen. Glücklicher Weise giebt es aber mehr denn ein Mittel, um hierin Abhülfe zu gewähren.

Zuvörderst kommt hier der Einfluss des Collectivglases auf den wechselseitigen Abstand der Bilder in Betracht. Nähert man es nämlich dem Ocular, dann werden die Luftbilder grösser, und zugleich nimmt der sie trennende Zwischenraum oder vielmehr die Dicke des Raumes, in dem sie sich bilden, an Grösse zu. Das Gegentheil tritt in dem Falle ein, wenn die Collectivlinse vom Ocular entfernt wird. Der Verfertiger eines Mikroskops hat es also in seiner Gewalt, durch wiederholte Versuche die gehörige Entfernung zwischen beiden Gläsern des Oculars ausfindig zu machen, bei welcher die vortheilhafteste Wirkung erzielt wird. Daraus ergiebt sich aber schon, dass ein Ocular, welches mit einem bestimmten Linsensysteme ein ausnehmend scharfes Bild giebt, eine weniger gute Combination mit einem anderen bilden wird, das sonst ganz gut gearbeitet sein kann, bei dem aber die Ueberverbesserung etwas mehr oder weniger beträgt, es müsste denn (was freilich in der Regel nicht der Fall ist) das Ocular aus zwei in einander verschiebbaren Röhren bestehen, die eine für das eigentliche Ocular, die andere für das Collectivglas, so dass der Beobachter ihre wechselseitige Distanz selbst in der Weise abzuändern vermag, wie es für das benutzte System am passendsten ist.

Ein zweites Mittel bietet sich in der Veränderung des Abstandes zwischen Ocular und Objectiv. Es wurde oben (§. 147) nachgewiesen, dass durch Vermehrung dieser Entfernung die vergrössernde Kraft zunimmt, durch deren Verminderung dagegen abnimmt. Da nun mit der stärkeren und schwächeren Vergrösserung auch immer die wechselseitige Distanz zwischen den extremen Luftbildern zu- und abnimmt, so kann natürlich auch hierdurch den im vorigen Paragraphen gestellten Forderungen Genüge geschehen. Wird das nämliche Linsensystem und das nämliche Ocular benutzt, dann vermag die Aberrationsverbesserung auch nur für eine bestimmte Distanz zwischen jenen beiden ihr Maximum zu erreichen. Wird dann diese Distanz verlängert, so rücken die extremen Luftbilder weiter aus einander. Man kann nun zwar die frühere Distanz wieder herbeiführen, wenn man das Collectivglas vom Ocular entfernt; dadurch geht aber an der Vergrösserung wiederum verloren, was durch die frühere Verlängerung erreicht worden war. Es steht somit die Länge des Rohres bei einem zusammengesetzten Mikroskope in genauem Zusammenhange mit dem Grade von Ueberverbesserung der Objectivsysteme.

Je geringer diese Ueberverbesserung innerhalb gewisser nicht zu überschreitender Grenzen ist, um so weniger wird das Scheinbild an Nettigkeit und Schärfe verlieren, wenn man das Rohr länger macht, und wenn man im Allgemeinen die Vergrösserung auf andere Weise, als durch einen Wechsel der Objective verstärkt.

Ein drittes Mittel besteht darin, dass man in die Bahn der vom Objectiv nach dem Ocular gehenden Strahlen eine Zerstreuungslinse einschiebt. Dass eine solche die Vergrösserung vermehrt, erhellt aus dem, was oben (§. 144) über ihre Anwendung bei Bildmikroskopen angeführt worden ist. Auch hat man es in der Gewalt, indem man sie näher dem Objectiv oder entfernter davon anbringt, diese Vergrösserung willkürlich zu vermindern oder zu vermehren. Hätte nun eine solche Linse keinen anderen Einfluss auf die Lichtstrahlen, als dass sie deren Convergenz zu mindern strebt, so würde ihre Benutzung ganz die nämliche Folge haben, als wenn man die Distanz zwischen Ocular und Objectiv vergrössert, und der Abstand der extremen Luftbilder würde sich in ganz gleicher Weise darstellen. Bei einer Zerstreuungslinse besteht aber eben so gut, wie bei einer Sammellinse, die chromatische und sphärische Aberration; nur wirken sie hier im entgegengesetzten Sinne wie bei einer Sammellinse (§. 61). Eine concave Linse aus blossem Kronglase wird deshalb, wenn sie zugleich mit einem überverbesserten Objectivsysteme gebraucht wird, zur Folge haben, dass die Bilder weiter auseinander weichen, als wenn blos die stärkere Vergrösserung wirksam wäre. Die Anwendung einer solchen Linse wird daher in fast allen Fällen nur nachtheilig wirken. Auch von einer aus Kron- und Flintglas bestehenden Zerstreuungslinse, die möglichst genau achromatisch gemacht ist, darf man nur wenig Gewinn erwarten, weil der stärkeren Vergrösserung ein Verlust an Lichtstärke in Folge der Reflexionen an den Oberflächen der Linse so wie beim Durchgange der Strahlen gegenüber steht. Dagegen kann eine etwas überverbesserte achromatische Hohllinse wirklichen Nutzen bringen, weil durch sie die Luftbilder näher aneinander rücken und sie daher anwendbar ist, um, wenn die Aberrationslänge eines Oculars im Verhältniss zum Grade der Ueberverbesserung des Objectivsystems zu gering ist, das richtige Verhältniss zwischen beiden herzustellen.

161 Erst vor mehreren Jahren ist die Aufmerksamkeit bestimmter auf einen Punkt gelenkt worden, der die Frage, wie man bei einem Mikroskope den möglichsten Grad optischer Vollkommenheit erreichen könne, noch etwas complicirter gemacht hat. Man hat nämlich gefunden, dass die Dicke der Glasplättchen, deren man sich bei fast allen mikroskopischen Untersuchungen zur Bedeckung der Objecte bedient, einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf die Schärfe der durchs Mikroskop wahrgenommenen Bilder übt. Manche Mikroskopenverfertiger (Powell, Amici) kannten zwar schon aus Erfahrung den Einfluss der Deckplättchen und waren auf Mittel bedacht, denselben zu beseitigen, aber erst Mohl (Mikrographie, S. 157) hat sich ausführlich darüber verbreitet.

Finden nun gleich diese Deckplättchen auch bei allen anderen Arten von Mikroskopen Anwendung, so scheint mir doch hier der geeignetste Ort zu sein, um auf diesen Einfluss aufmerksam zu machen, zumal derselbe mit den verschiedenartigen bereits erwähnten Methoden zur Verbesserung der Aberrationen in unmittelbarem Zusammenhange steht, in welchen Methoden zugleich die Mittel gefunden werden, um diese Bedeckung mit Glasplättchen grösstentheils unschädlich zu machen.

Weiter oben (§. 29) wurde schon dargethan, dass wenn Strahlen, welche von einem naheliegenden Punkte kommen, divergirend durch eine Glasplatte mit parallelen Flächen gehen, dieselben nach dem Durchtritte von einer unendlich grossen Anzahl über einander liegender Punkte zu kommen scheinen; ist dagegen statt eines einzelnen leuchtenden Punktes ein Object vorhanden, so wird die Folge sein, dass eine unendlich grosse Anzahl von Bildern einander zu decken scheinen, die alle höher liegen als das Object selbst. Das am weitesten entfernte oder am höchsten gelegene Bild wird dann durch die am meisten schief einfallendeu Strahlen gebildet. Mit der Anwendung eines solchen Glasplättchens verbindet sich daher eine ähnliche Wirkung, wie die sphärische Aberration, und offenbar muss die hier berührte Abweichung und die davon bedingte Dicke der Bildanhäufung um so grösser sein, je dicker das Glasplättchen ist, welches zum Bedecken benutzt wird.

Man kann sich den Einfluss dieser Abweichung auf die Luftbilder zwischen dem Collectiv und dem Ocular am besten vorstellen, wenn man daran festhält, dass jegliches von den besonderen Bildern, welche durch die Benutzung eines Deckplättchens hervorgerufen werden, nach dem Durchgange der Strahlen durch das Objectivsystem wiederum in eine Reihe über einander liegender Bilder zerfällt. Alle diese Reihen von Bildern greifen zwar in einander, aber so, dass jede folgende Reihe etwas tiefer liegt, daher dann schliesslich der Abstand zwischen dem zumeist nach oben und dem zumeist nach unten gelegenen Bilde grösser ist, als derselbe ohne die Bedeckung mit einem Glasplättchen sein würde. In der relativen Stellung der Luftbilder, mögen diese nun durch ein überverbessertes oder durch ein unterverbessertes Objectivsystem zu Stande kommen, bewirkt ein solches Deckplättchen keine Veränderung oder Umkehrung, sondern nur im Abstande derselben unter einander.

Leicht kann man sich vom Vorhandensein dieser Abweichung überzeugen. Freilich ist sie viel zu klein, als dass sie mit blossem Auge könnte wahrgenommen werden, und selbst bei mässiger 20- bis 60maligen Vergrösserungen ist ihr Einfluss noch nicht bemerkbar. Da aber die Dicke des bilderfüllten Raumes mit der Vergrösserung dieser Bilder zunimmt, so muss dieser Einfluss um so erheblicher ausfallen, je mehr die vergrössernde Kraft der benutzten Objective und Oculare zunimmt. Man betrachte z. B. bei einer 300- bis 400maligen Vergrösserung das nämliche Probeobject zuerst ganz unbedeckt, dann aber, wenn ein Glasplättchen von 1 bis 2^{mm} Dicke darauf liegt. Wenn das ganz unbedeckte

Object mit vollkommener Schärfe sich darstellt, so wird der Einfluss des Glasplättchens durch ein Trübsein und etwas Nebelartiges sich kund geben, welches davon herrührt, dass die nur mit Mühe wahrnehmbaren Einzelnheiten am Objecte, z. B. die Querstreifchen auf den Schüppchen vieler Schmetterlinge, sich jetzt gar nicht mehr unterscheiden lassen, oder doch wenigstens nicht mehr gleich deutlich wie früher.

Das Gegentheil kann aber eben so gut eintreten, dass nämlich die Schärfe des Bildes durch die Bedeckung mit einem Glasplättchen nicht abnimmt, sondern eher zunimmt. Es bedarf dazu weiter nichts, als dass der Grad der Ueberverbesserung des Objectivsystems zu niedrig ist im Verhältniss zur Aberrationslänge des Oculars. Durch ein Deckplättchen von passender Dicke werden dann die Bilder weiter von einander abstehen und das richtige Verhältniss zwischen Ocular und Objectiv wird durch dasselbe hergestellt werden.

Man ersieht hieraus, dass diese Glasplättchen, sobald sie zur Anwendung kommen, als ein nicht gleichgültiger Bestandtheil des optischen Apparats zu betrachten sind und dass ein gutes Mikroskop eine Einrichtung haben muss, wodurch der Untersuchende in Stand gesetzt wird, den übrigen Theil dieses optischen Apparates so zu ändern als nöthig ist, damit derselbe mit den Deckplättchen von verschiedener Dicke, deren er sich bei seinen Untersuchungen bedient, in gehörige Uebereinstimmung gebracht werde.

Dazu können nun alle jene Mittel benutzt werden, die wir schon als solche kennen gelernt haben, wodurch in dem relativen Stande der Luftbilder vor dem Augenglase eine Veränderung zu Wege gebracht wird. Ist also ein Mikroskop so eingerichtet, dass durch dasselbe unbedeckte Objecte am schärfsten wahrgenommen werden, dann wird, sobald ein Deckplättchen zur Anwendung kommt, entweder die Verkürzung des Rohres, oder die Verlängerung des Abstandes zwischen Ocular und Collectiv, oder eine überverbesserte achromatische Zerstreuungslinse in der Bahn der Strahlen dem vorgesteckten Zwecke entsprechen.

Dass die anzubringenden Modificationen je nach der grösseren oder geringeren Dicke der Deckplättchen verschieden sein müssen, wird aus folgendem von Mohl (Mikrographie, S. 162) entnommenen Beispiele ersichtlich werden. Ein Objectivsystem, welches mit dem schwächsten Ocular seines Amici'schen Mikroskops 188 Mal vergrössert, fordert bei 5 Zoll 4 Linien Länge des Rohres ein Deckplättchen, dessen Dicke ohne auffallende Störung zwischen 1,2 und 1,6^{mm} variiren kann; hat aber das Rohr 3 Zoll 11 Linien Länge, dann müssen die Deckplättchen 1,3 bis 1,8^{mm} dick sein, und bei einem 2 Zoll 6 Linien langen Rohre sind Deckplättchen von 1,8 bis 2,3^{mm} Dicke nöthig. Hieraus folgt zugleich, dass die Dicke der Deckplättchen innerhalb gewisser Grenzen wechseln kann, ohne dass der störende Einfluss noch sehr bemerkbar wird.

Ausser den bereits angeführten Mitteln steht noch eins zu Gebote, wodurch dem Einflusse der Deckplättchen begegnet werden kann: man

richtet nämlich das Objectivsystem so ein, dass seine Wirkung verbunden mit jener des Deckplättchens zusammen nöthig ist, um die geforderte Distanz der Luftbilder zu Stande zu bringen, so dass also das Deckplättchen gleichsam einen Theil des Objectivsystems ausmacht. Dass dies geschehen kann, ist klar, da nach §. 156 die Ueberverbesserung eines Linsensystems zunehmen wird, wenn die Linsen, woraus dasselbe zusammengesetzt ist, einander genähert werden, während diese Ueberverbesserung abnehmen und zuletzt selbst in eine Unterverbesserung übergehen wird, wenn man dieselben weiter aus einander rückt. Da nun ein Objectivsystem mit geringer Ueberverbesserung durch Anwendung eines Deckplättchens einem Systeme mit stärkerer Ueberverbesserung gleich gemacht werden kann, so folgt hieraus, dass die nämlichen Linsen durch blosse Veränderung ihrer wechselseitigen Distanz zu Systemen verbunden werden können, die entweder ohne Deckplättchen oder mit Deckplättchen von verschiedener Dicke gebraucht werden müssen, wenn sie bei Anwendung eines bestimmten Oculars und bei einer bestimmten Länge des Mikroskops am vortheilhaftesten wirken sollen.

Beim Anfertigen eines Mikroskops lassen sich daher ausser den bisher genannten Wegen noch zwei andere einschlagen, die auch zu dem genannten Ziele führen. Entweder kann man die Objectivsysteme so einrichten, dass der Beobachter selbst im Stande ist, durch Abänderung der wechselseitigen Distanz der Linsen immer die nöthigen Veränderungen anzubringen, oder man kann dem Mikroskope eine gewisse Anzahl Objectivsysteme beigeben, deren Linsen in fester Verbindung mit einander sind und die ausdrücklich für Deckplättchen von verschiedener Dicke bestimmt und eingerichtet sind. Beide Wege hat man schon praktisch eingeschlagen. Der letztere ist zwar umständlicher für den Opticus, im Allgemeinen aber scheint er den Vorzug zu verdienen, da dem Beobachter hierdurch viel Zeit erspart wird, und da es sicherer und bequemer ist, die Objectivsysteme ganz zu wechseln, als bei jeder neuen Beobachtung durch Auf- und Niederschrauben der Linsen vorher genau den Abstand aufzusuchen, welcher der Dicke des benutzten Deckplättchens am besten entspricht. Es lassen sich aber auch beide Wege vereint einschlagen, indem man die Röhrchen, in welche die Linsen gefasst sind, so einrichtet, dass jedes System sowohl ohne als mit Deckplättchen von bestimmter Dicke gebraucht werden kann, also die Stelle zweier besonderen dafür bestimmten Systeme vertritt. Die hierzu sich eignende mechanische Einrichtung, wodurch eine in gewisse Grenzen eingeschlossene Verlängerung oder Verkürzung des Abstandes zwischen den Linsen eines Objectivsystems erzielt wird, soll später beschrieben werden.

Dass das Huygens'sche Ocular, bei welchem das Luftbild zwischen 162
das Collectiv und das Ocular fällt, im Allgemeinen als das passendste für ein aplanatisches Mikroskop zu erachten sei, wird durch die oben (§. 159) aufgestellte Theorie seiner Wirkungsweise in Verbindung mit überverbesserten Objectivsystemen klar dargethan. Die Optiker, welche

Mikroskope verfertigen, geben ihm auch in der Regel den Vorzug, wie schon daraus zu entnehmen ist, dass fast alle Oculare bei neueren Mikroskopen diese Zusammensetzung haben. Doch giebt es noch andere Einrichtungen des Oculars, die unter besonderen Umständen mit Vortheil angewandt werden können und deshalb hier Erwähnung verdienen.

Dahin gehört zunächst das Ocular von Ramsden oder das positive Ocular. Manche, wie z. B. Littrow (Gehler's Wörterbuch. Art. Mikroskop, S. 2249) und ihm nachfolgend J. Vogel (Anleitung zum Gebrauche des Mikroskops, S. 29) haben sogar behauptet, es verdiene dieses Ocular vor jenem von Huygens den Vorzug, und sie haben ihre Verwunderung darüber nicht bergen können, dass dasselbe nicht in allgemeinerem Gebrauche ist. Aus diesem Grunde erscheint es nöthig, die Vor- und Nachtheile beider Classen von Ocularen etwas näher zu betrachten, um die Fälle bestimmen zu können, wo jedes mit dem meisten Vortheil angewendet werden mag.

Das Ocular von Ramsden besteht eben so, wie jenes von Huygens, aus zwei planconvexen Linsen; diese sind aber mit den gewölbten Flächen einander zugekehrt, und sie liegen zugleich näher bei einander, so dass das Bild nicht zwischen ihnen entsteht, sondern in kleiner Entfernung vor dem untersten Glase, d. h. also zwischen diesem und dem Objectiv. Ein solches Ocular ist also eigentlich ein Doublet, dessen vergrössernde Kraft einem einzigen stärker gekrümmten Ocular gleichkommt.

Aendert man innerhalb gewisser Grenzen die Entfernung der beiden Linsen von einander, so ändert sich auch die Brennweite des Systems (§. 125), und damit zugleich die chromatische und sphärische Aberrationslänge. Man hat es daher mit diesem Ocular eben so wie mit der Huygens'schen Einrichtung in seiner Gewalt, durch Benutzung eines überverbesserten Objectivsystems die Dicke der Luftbilderschicht mit der Aberrationslänge des Oculars in ein entsprechendes Verhältniss zu bringen. Darin also stehen beide Ocularaarten einander ziemlich gleich.

Die Einrichtung von Ramsden hat nun allerdings einige Vortheile. Während mit Huygens' Ocular das Bild zuerst durch das Collectivglas verkleinert (Fig. 65) und seine Vergrösserung hierauf nur durch das Ocular herbeigeführt wird, findet hier gar keine vorgängige Verkleinerung des Bildes statt und die Vergrösserung ist die Folge der vereinigten Wirkung beider Linsen. Werden also Linsen von gleicher Oeffnung und Krümmung, folglich auch von der nämlichen chromatischen und sphärischen Aberration zu einem Huygens'schen und zu einem Ramsden'schen Ocular vereinigt, so wird man durch letzteres eine merklich stärkere Vergrösserung bekommen, ohne dass die Aberrationen in gleichem Verhältniss zunehmen. Je mehr ferner zwei Linsen einander genähert werden, um so eher werden auch die seitlich auffallenden Strahlen durch beide Linsen gehen, und somit ist das Gesichtsfeld beim Ocular von Ramsden grösser.

Diesen Vortheilen stehen indessen nicht unerhebliche Nachtheile

gegenüber. Da das Bild sehr nahe der Oberfläche des unteren Glases liegt, so zeigen sich die geringsten Fehler der Politur, die kleinsten Risse oder Fäserchen auf seiner Oberfläche auch im Gesichtsfelde. Ist diese Oberfläche nicht aufs Sorgfältigste polirt und wird sie nicht immer gereinigt, so läuft man Gefahr, diese Unebenheiten für Theile des Bildes zu halten, das sich im Gesichtsfelde befindet.

Wir sahen dann ferner (§. 152), dass es beim Ocular von Huygens durch ein passendes Verhältniss zwischen den Krümmungen des Collectivs und des Oculars möglich ist, die Krümmung der Ebene, worin das Bild liegt, durch das Collectiv so umzukehren, dass jenes durch das Ocular wahrgenommene Scheinbild in einer geraden Fläche sich darstellt. Beim Ocular von Ramsden kann so etwas nicht geschehen, weil eigentlich kein Collectiv bei demselben vorhanden ist*).

In allen Fällen also, wo es weniger auf ein grosses Gesichtsfeld ankommt, als auf die grösstmögliche Schärfe des Bildes im ganzen Gesichtsfelde, verdient das Ocular von Huygens den Vorzug. Die am wenigsten vergrössernden Oculare sollen demnach in der Regel diese Einrichtung besitzen. Bei stärkeren Ocularen, wozu bei der Huygens'schen Einrichtung sehr convexe Oculare, die einen grossen Theil einer Kugel ausmachen, genommen werden müssen, würde das Ocular von Ramsden, da ihm bei gleicher Vergrösserung weniger Aberration zukommt, in Betrachtung kommen können, wäre nicht gerade diese Aberration, zusammenwirkend mit der entgegengesetzten Aberration des Objectivsystems, für die Gesammtwirkung vortheilhaft. Hier muss die Wahl durch den Grad der Ueberverbesserung der Objectivsysteme bestimmt werden.

Aber auch bei schwachen Vergrösserungen und bei Anwendung von Objectivsystemen mit entferntem Brennpunkte, die mithin ein nur schwach gebogenes Luftbild erzeugen, kann ein Ramsden'sches Ocular mit Vortheil zu dem Zwecke benutzt werden, ein grosses Gesichtsfeld zu bekommen, in jenen Fällen also, wo es sich mehr um eine allgemeine Uebersicht des untersuchten Objectes handelt, als um eine genaue Beobachtung aller seiner Einzelnheiten. Dieses Ziel wird dann am besten

---

*) Man darf dies aber nicht so verstehen, als müsse jedes Huygens'sche Ocular nothwendig ein mehr geradflächiges Feld haben als ein Ramsden'sches. Ist bei dem ersteren das Uebergewicht des Oculars zu gross, dann wird die Krümmung viel stärker sein können, und bei einer vergleichenden Prüfung beider Oculararten ist es mir wirklich vorgekommen, als ob selbst bei Mikroskopen aus den besten Werkstätten Oculare der ersten Art oftmals noch sehr auffallend mit dieser Unvollkommenheit behaftet wären. Indessen dieselbe kann doch beim Ocular von Huygens ganz aufgehoben werden, nicht aber bei jenem von Ramsden, obwohl bei letzterem die vom Ocular selbst abhängige Krümmung viel geringer ist, wie man dies bei Doublets im Allgemeinen findet, und weil auch hier die gewölbten Oberflächen beider Linsen einander zugekehrt sind, so dass das Gesichtsfeld bei geringen Vergrösserungen noch ziemlich geradflächig sein kann.

erreicht, wenn beide Linsen, die einen ansehnlichen Durchmesser besitzen müssen, nahe an einander gerückt werden.

Besser noch, als zwei planconvexe Linsen, dient zu diesem Zwecke das aplanatische Doublet (Fig. 62 und §. 128) von J. Herschel, welches auch mit einem Collectivglase von geringer Krümmung verbunden werden kann, um das Gesichtsfeld mehr eben zu machen. Es wäre zu wünschen, jedes Mikroskop würde mit einem derartig eingerichteten Ocular ausgestattet. Carpenter (*Todd's Cyclop. of Anat. and Phys.* Part. XXII, p. 342) fand, dass bei seiner Anwendung der Durchmesser des Gesichtsfeldes für eine mittlere Sehweite von 10 englischen Zollen 14 Zoll oder etwa 36 Centimeter betragen kann, mehr denn doppelt so viel, als das Gesichtsfeld bei Benutzung Huygens'scher Oculare zu besitzen pflegt.

Endlich giebt es noch einen Fall, wo man dem Oculare von Ramsden vor jenem von Huygens den Vorzug geben muss, nämlich bei Ocularmikrometern von verschiedener Einrichtung. Wird ein Glasmikrometer oder werden die beweglichen Fäden eines Schraubenmikrometers zwischen dem Collectivglase und dem Ocular angebracht, so dass man durch das letztere hindurch die Mikrometertheilungen oder die Fäden deutlich wahrnimmt, dann wird ihr vergrössertes Scheinbild in einer sehr gekrümmten Fläche liegen, wie alle anderen Gegenstände, die man durch eine einzelne Linse betrachtet (§. 109). Die nahe dem Rande des Gesichtsfeldes befindlichen Abtheilungen werden sich bedeutend grösser darstellen, als jene in der Mitte. Alle Linien, die nicht gerade durch die Mitte des Gesichtsfeldes gehen, und so auch die Fäden des Schraubenmikrometers werden etwas nach aussen gekrümmt erscheinen. Das ist nun in viel geringerem Grade der Fall, sobald das Mikrometer vor einem Ramsden'schen Ocular sich befindet, und zwar aus den nämlichen Gründen, weshalb das Gesichtsfeld beim Gebrauche von Doublets immer mehr geradflächig ist, als wenn nur eine einzelne Linse benutzt wird, die gleich stark vergrössert. Mit einem derartigen Ocular sieht man daher alle geraden Linien, die sich in seiner Brennweite befinden, auch fast vollkommen geradlinigt, und entfernt man sich nicht zu weit von der Mitte, so befinden sie sich auch in verhältnissmässiger Entfernung von einander, was natürlich zu Messungen unumgänglich nöthig ist.

Ich würde hier noch jener Oculare Erwähnung thun müssen, die dazu bestimmt sind, das verkehrte Bild wiederum in die ursprüngliche Richtung des Objects zurückzuführen. Doch halte ich es für geeigneter, wenn ich über sie und die übrigen Mittel, die zu gleichem Zwecke angewendet werden, in einem besondern Kapitel handele.

163 Nachdem wir die Hauptbestandtheile jedes zusammengesetzten dioptrischen Mikroskops betrachtet haben, sowie das Verhältniss, worin die Objective und Oculare zu einander stehen, können wir jetzt die Frage beantworten, wie ein zusammengesetztes Mikroskop beschaffen sein müsse,

damit es den billigen Anforderungen Jener entspreche, die es zu wissenschaftlichen Untersuchungen benutzen wollen.

Das Haupterforderniss jedes Mikroskops ist die grösstmögliche optische Vollkommenheit. Ein geübter Beobachter kann mittelst eines Mikroskops, dessen mechanische Einrichtung sehr unvollkommen ist, noch vorzügliche Untersuchungen ausführen, wenn es nur gute Objective und Oculare hat. Ist dagegen der optische Apparat schlecht, dann kann weder das Geübtsein des Beobachters, noch die Vortrefflichkeit des Mechanismus den geringsten Ersatz dafür bieten.

Indem ich die allgemeinen Grundsätze, nach denen man den Grad der optischen Vollkommenheit der verschiedenen Mikroskope prüft, für ein späteres besonderes Kapitel aufspare, soll hier nur dasjenige aufgezählt werden, was im Besonderen zur Einrichtung eines zusammengesetzten Mikroskops erforderlich ist.

Man kann aber hierbei von einem doppelten Gesichtspunkte ausgehen, indem man sich nämlich die Frage stellt, welches die vollkommenste Einrichtung eines zusammengesetzten dioptrischen Mikroskops ist, das den gegenwärtigen Forderungen der Kunst entspricht, oder indem man fragt, wie ein solches Mikroskop eingerichtet sein muss, damit es für wissenschaftliche Untersuchungen genüge? Die Antwort auf beide Fragen würde natürlich gleichlautend sein, müsste man nicht die höchste Vollkommenheit der Kunst zugleich auch mit dem höchsten Preise vergüten. Da ich mir nun unter den Lesern viele denke, für welche der letztgenannte Punkt keineswegs gleichgültig ist, und da auch ausserdem die Brauchbarkeit eines Mikroskops durchaus nicht in gleichem Verhältniss mit seinem Preise sich steigert, so werde ich im Folgenden diesen Punkt nicht aus dem Auge verlieren.

Den ersten und wichtigsten Theil bilden die Objectivsysteme. Was ihre Zahl betrifft, so kann man zur Noth mit drei Systemen von verschiedener Vergrösserung auskommen. Einige mehr, also etwa 5 bis 6, sind aber wünschenswerth, da man, wo möglich, die stärkeren Vergrösserungen nicht durch den Wechsel der Oculare, sondern der Objective zu erreichen suchen muss. Aus den weiter oben (§. 158) angeführten Gründen ist es vorzuziehen, wenn diese Linsen fest unter einander zu Systemen verbunden sind.

In der Anfertigung stark vergrössernder Objectivsysteme haben es manche Optiker in den letzten Jahren sehr weit gebracht. Wer ein so vollkommen als möglich eingerichtetes Mikroskop verlangt, der kann jetzt sich Objectivsysteme anschaffen, die mit dem schwächsten für gewöhnlich gebrauchten Ocular, wodurch die Bilder etwa 5 Mal vergrössert werden, bei einem etwa 20 Centimeter langen Rohre eine 600- bis 700-fache Vergrösserung geben. Das schwächste Objectiv kann dann wohl mit dem nämlichen Ocular eine 30- bis 40fache Vergrösserung bewirken, und zwischen diesen beiden Extremen liegen die Vergrösserungen

mit den übrigen Objectivsystemen, soviel möglich in einer geregelten Folge.

Wer sich ein Mikroskop bestellt und dabei die Objectivsysteme selbst wählt, der lasse sich dringend anempfohlen sein, dass er sich nicht blos auf die Anschaffung der stärkeren Systeme beschränkt, wozu viele geneigt sind, denen die Bekanntschaft mit mikroskopischen Untersuchungen noch abgeht. Wer sich des Mikroskops häufig bedient, wird nämlich finden, dass die stärksten Vergrösserungen nur selten in Anwendung kommen, dass dagegen schwache und mittlere am häufigsten benutzt werden. Der Grund ist zum Theil darin zu suchen, dass die schwächer vergrössernden Objectivsysteme im Vergleich zu den stärkeren immer vollkommener sind; denn die letzteren bestehen aus sehr kleinen Linsen und lassen sich niemals so vollkommen aplanatisch herrichten. Bei ihrer Benutzung gewinnt man daher niemals so viel, als ihre stärker vergrössernde Kraft zu versprechen scheint. Ausserdem kommen die stärksten Objectivsysteme dem Objecte sehr nahe, und die Beschaffenheit der letzteren ist deshalb oftmals ihrer Anwendung hinderlich. Bei einem Objectivsysteme, welches mit dem schwächsten Oculare 600 bis 700 Mal vergrössert, ist diese Annäherung so bedeutend, dass man kaum gläserne Deckplättchen findet, die hinlänglich dünn sind, um benutzt werden zu können; und doch hat man jetzt solche Plättchen, die nur $^1/_5$ bis $^1/_7{}^{mm}$ Dicke haben. Endlich ist mit schwächeren Vergrösserungen auch noch der grosse Vortheil verbunden, dass der Beobachter dadurch in den Stand gesetzt wird, einen grösseren Theil des Objects auf einmal anzuschauen, und so den Zusammenhang und die Verbindung der Theile unter einander mit einem Blicke zu übersehen. Dies ist weit besser, als wenn sie nach einander ins Gesichtsfeld kommen, weil es dann oftmals der lebendigsten Einbildung nicht möglich ist, die einzelnen zum Bewusstsein kommenden Gesichtseindrücke späterhin zu einem zusammenhängenden Ganzen zu verbinden.

Wenn daher Jemand, um die Kosten zu verringern, nur drei Sätze von Objectiven mit verschiedener Vergrösserung verlangt, so wird er besser thun, zunächst von dem eben genannten am stärksten vergrössernden Satze abzustehen, und dafür einen etwas schwächer vergrössernden zu wählen, der etwa mit dem schwächsten Ocular 300- bis 350 Mal vergrössert. Sind die beiden anderen Sätze so, dass der eine 30 bis 40, der andere 120 bis 150 Mal mit dem nämlichen Oculare vergrössert, so wird er beim Gebrauche seines Mikroskops nur selten in den Fall kommen, ein weiter gehendes System von Objectiven zu wünschen. Allerdings wohl ist es richtig, dass Fälle vorkommen, wo die Anwendung der stärksten bis jetzt verfertigten Objectivsysteme nöthig ist, um mit Ueberzeugung wahrzunehmen, was man durch etwas schwächere zum Theil gar nicht oder weniger deutlich erkennt, weshalb auch jene stärkeren bei einem ganz vollkommen ausgestatteten Instrumente nicht fehlen dürfen; allein die Anzahl der Fälle, in denen ihre Anwendung wirklich nutzbringend erscheint, ist nur gering im Vergleich zu der grossen Menge anderer

Fälle, wo sie ohne Beeinträchtigung der genauen Beobachtung gänzlich entbehrt werden können. Bei weitaus den meisten mikroskopischen Untersuchungen ist eine 300fache Vergrösserung die äusserste Grenze, die man nur selten zu überschreiten braucht, und bei dieser Vergrösserung wird ein geübter Beobachter schon sehr viel entdecken, was einem weniger geübten bei 1000facher Vergrösserung entgeht. Es versteht sich übrigens von selbst, dass diese Behauptung nur für den gegenwärtigen Zustand der Mikroskope auf Gültigkeit Anspruch macht. Würde es der Kunst gelingen, die stärksten Objectivsysteme noch auf einen höheren Grad von Vollkommenheit zu bringen, dann wäre der Augenblick gekommen, wo Jeder, der mit den Forderungen der Wissenschaft gleichen Schritt zu halten wünscht, sich in der Nothwendigkeit befände, dieselben seinem mikroskopischen Apparate zuzufügen.

Ein Umstand darf aber hier nicht aus dem Auge verloren werden, nämlich der weiter oben (§. 161) geschilderte Einfluss, den die Deckplättchen auf die Schärfe des mikroskopisch wahrgenommenen Bildes äussern. Giebt es nun auch, wie wir gesehen haben, manche andere Methoden zur Verbesserung der hierdurch erzeugten Störung, so scheint doch das beste Mittel darin zu bestehen, dass man einige der stärker vergrössernden Objectivsysteme ausdrücklich für die Benutzung mit Deckplättchen von einer bestimmten Dicke einrichtet. Es wäre daher zu wünschen, dass bei der Anfertigung von Mikroskopen hierauf mehr Rücksicht genommen würde, als es bisher noch meistentheils zu geschehen pflegte.

Die Art, wie die Linsen gefasst und unter einander verbunden sind, ist natürlich nicht ganz gleichgültig für die Tüchtigkeit und Brauchbarkeit des Systems. Zuvörderst müssen sie sorgfältig centrirt sein, so dass alle optischen Axen der verschiedenen Linsen genau in derselben geraden Linie liegen. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, so muss nothwendig die Nettigkeit und die Form des Bildes darunter leiden.

Dass die stärkste Linse des Systems dem Objecte zugekehrt sein muss, wurde schon früher (§. 107) angegeben. Zur Sicherung dieser Linse ist es dann wünschenswerth, dass von dem messingenen Röhrchen, von dem sie umschlossen wird, ein schmaler Rand etwas nach unten über die Fläche vorspringt, um dadurch möglichst zu verhindern, dass die Linse beschädigt werde, wenn man das System unvorsichtiger Weise mit der unteren Fläche auf die Tafel legt, oder beim Gebrauche des Mikroskops dem Objecte zu sehr nähert. Die Röhrchen müssen übrigens eine solche Form haben, dass der Ein- und Austritt der Lichtstrahlen keine Störung erleidet, und die Röhrchen der stärksten Objective, welche dem Objecte am meisten genähert werden, müssen nach unten kegelförmig zulaufen. Diese Form, welche bei vielen, aber doch noch nicht bei allen unseren jetzigen Mikroskopen angetroffen wird, erweisst sich nicht ohne Bedeutung beim Gebrauche des Mikroskops; man läuft dann weniger Gefahr mit der untersten Linse an das Object anzustossen, als wenn

das ganze Linsensystem unten gleich breit wie oben ist, wo man nur mit Mühe das drohende Anstossen wahrnehmen kann.

Die Verbindung der Objectivsysteme mit dem Rohre des Mikroskops wird gewöhnlich durch eine Schraube hergestellt. Ohne anderer früherhin gebräuchlicher Verbindungsweisen zu gedenken, die für eine genaue Centrirung weniger passen, muss ich hier noch die Bajonetverbindung nennen, die dem Zwecke gleich gut entspricht wie die Schraube und sich durch den rascher zu bewirkenden Wechsel auszeichnet; auch läuft man dabei nicht Gefahr, dass die Objectivsysteme aus der Hand gleiten und hinfallen, wie es beim Abdrehen der Schraubenverbindung leicht geschieht. Man muss sich deshalb wundern, dass diese Verbindungsweise nur noch bei wenigen Mikroskopen angetroffen wird.

164 Die Anzahl der Oculare kann nöthigenfalls bei einem Mikroskope noch geringer sein als jene der Objective. Unerlässlich zur Ausführung fast aller Arten von Untersuchungen erscheinen mir nur zwei Huygens'sche Oculare, von denen das eine jenes durch das Objectivsystem erzeugte Bild 5 bis 6 Mal, das andere aber dieses Bild 8 bis 10 Mal vergrössert, bei einem ungefähr 20 Centimeter langen Rohre. Will man stärkere Vergrösserungen, die in manchen Fällen nützlich sein können, namentlich bei genauen mikrometrischen Bestimmungen, so kann man noch ein Ocular hinzufügen, welches 12 bis 14 Mal vergrössert. Oculare mit noch stärkeren Vergrösserungen darf man als ganz überflüssig und nutzlos ansehen. Denn wenn es gleich nicht schwer fällt, bei allen neueren Mikroskopen durch starke Oculare oder durch Verlängerung des Rohres eine Vergrösserung von 4000 bis 5000 Mal im Durchmesser zu erlangen, so gewährt dies doch nicht den geringsten Vortheil, wie aus den später ausführlich mitzutheilenden Thatsachen auf überzeugende Weise erhellen wird.

Als eine wünschenswerthe, wenngleich nicht unerlässliche Zugabe eines Mikroskops erachte ich aus den vorhin (§. 162) angeführten Gründen ein Ocular in der Form des Herschel'schen aplanatischen Doublets. Da durch seine Anwendung hauptsächlich ein grosses Gesichtsfeld erlangt werden soll, so braucht es nicht stark zu vergrössern, und es kann in dieser Beziehung sogar recht gut noch etwas unter dem schwächsten Huygens'schen Ocular stehen.

Die beiden Linsen, aus denen ein Ocular besteht, werden durch ein kurzes Rohr vereinigt. Beim Huygens'schen Ocular befindet sich in diesem Ocular ein ringförmiges Diaphragma in jener Höhe, wo das Bild sich formt, also nahe der Brennweite des eigentlichen Oculars. Durch dasselbe werden die schief einfallenden Strahlen abgeschnitten, die der Nettigkeit des Bildes Eintrag thun würden.

Ist das eigentliche Ocular kleiner als der Pupillendurchmesser, oder übertrifft es diesen nur wenig, dann muss seine obere gerade Fläche mit der Oberfläche des umgebenden Randes gleich sein, damit das Auge dem Ocular möglichst genähert werden kann, weil das Gesichtsfeld bei die-

ser Stellung am grössten ist. In dem Maasse aber, als der Durchmesser des Oculars jenen der Pupille übertrifft, wird man das Auge entfernter davon halten müssen, damit die von den Rändern des Gesichtsfeldes kommenden Strahlen durch die Pupille ins Auge treten können. In diesem Falle ist es also gut, wenn das Ocular etwas unterhalb des Niveaus der oberen Oeffnung liegt.

Die Verbindung der Oculare mit dem Rohre des Mikroskops bewirkt man jetzt ganz allgemein durch Einschiebung, und wegen des leichter möglichen Wechsels verdient diese auch bestimmt den Vorzug vor der früher häufig angewandten Schraubenverbindung.

Dass die Länge des Rohres, wodurch das Objectiv und Ocular mit 165
einander verbunden werden, nicht ohne Bedeutung ist für die gehörige Verbesserung der Aberrationen, also auch für die Schärfe des Bildes, haben wir schon früher (§. 139) gesehen. Man würde es also im Allgemeinen für zweckmässig erachten dürfen, wenn der Opticus dem Rohre eine Länge gäbe, die am meisten in Uebereinstimmung ist mit dem Verhalten der Objectivsysteme und Oculare zu einander. Für einzelne Fälle ist es aber vortheilhaft, wenn das Rohr aus zwei in einander verschiebbaren Röhren zusammengesetzt ist, so dass der Abstand des Objectivs vom Ocular eben sowohl verkürzt als verlängert werden kann. Diese Einrichtung ist in doppelter Beziehung nützlich. Zuvörderst ist dadurch ein wichtiges Mittel zu ferneren Verbesserungen geboten. Denn bei einem Mikroskope, zu dem verschiedene Objective und Oculare gehören, darf man unmöglich erwarten, dass ein und dieselbe Länge des Rohres auch am besten bei allen Combinationen ausreichen werde. Sodann kann eine Verkürzung des Rohres beim Gebrauche von Deckplättchen zu statten kommen. Eine vorausgegangene Untersuchung wird deshalb darüber belehren können, bei welcher Länge des Rohres die optische Vollkommenheit des Mikroskops in den verschiedenen Fällen den höchsten Grad erreicht, und dies kann weiterhin als Richtschnur dienen.

Der zweite Vortheil dieser Einrichtung besteht darin, dass man es in der Gewalt hat, durch Ein- oder Ausziehen des inneren Rohres die Vergrösserung auf eine bestimmte Zahl zu bringen. Bei manchen mikrometrischen Messungen ist dies sehr vortheilhaft. Einfacher ist es z. B., wenn man den Durchmesser des Bildes mit 500 dividirt statt mit 487 oder 513, oder mit 100 statt mit 93 oder 107. Auch ist es bei manchen Beobachtungen vortheilhaft, den wahren Durchmesser des Gesichtsfeldes auf eine bestimmte Grösse zu bringen, auf 1, 2, 3^{mm} u. s. w. Beides kann geschehen, wenn man die Entfernung zwischen Objectiv und Ocular vergrössert oder verkleinert, und zwar auch ohne eine sehr in die Augen fallende Abnahme der Bildschärfe, wenn gewisse Grenzen dabei nicht überschritten werden.

Am besten entspricht diesen Zwecken eine auf die innere Röhre eingeschnittene Theilung. Der Opticus oder auch der Besitzer des Mikroskops selbst kann dann mit deren Hülfe eine Tabelle entwerfen, und

darauf nach vorgängiger genauer Untersuchung des Instrumentes alle Einzelnheiten verzeichnen, die ihm späterhin bei den Untersuchungen zu Gute kommen.

166 Die bisher aufgestellten Grundsätze für die optische Einrichtung eines zusammengesetzten Mikroskops können auf Allgemeingültigkeit Anspruch machen, so dass sie auf jedes derartige Instrument im Besonderen sich anwenden lassen; weit schwieriger ist es dagegen, für die übrige mechanische Einrichtung bestimmte Regeln aufzustellen. Hierbei kommt viel auf die besonderen Bedürfnisse des Beobachters an und für welcherlei Untersuchungen er das Instrument vorzugsweise zu benutzen wünscht. Von zwei Mikroskopen, die in Betreff der mechanischen Einrichtung gleich vorzüglich sind, wird das eine zu einer bestimmten Untersuchung besser geeignet sein können, und für andere Untersuchungen wird man wiederum dem anderen den Vorzug geben.

Es ist allerdings wohl möglich, dass ein und dasselbe Instrument einer grösseren Anzahl von Zwecken entsprechend eingerichtet werde; allein eine solche Vereinigung verschiedener mechanischer Hülfsmittel, wodurch das Instrument natürlich weit kostbarer wird, kann deshalb noch keineswegs in jeder Beziehung als ein Gewinn angesehen werden. Bei solcher Ueberladung mit Apparaten von allerlei Art, mit Gelenken und Bewegungen in allerlei Richtungen, gehen leicht andere wesentliche Vortheile verloren, namentlich die Festigkeit des ganzen Instruments und die geringe Höhe, welche gestattet, dass man im Sitzen damit arbeiten kann. Mohl (Mikrographie, S. 89) sagt hierüber: »Je einfacher der Bau des Mikroskops ist, desto schneller und leichter wird man alle nöthigen Bewegungen vornehmen; je complicirter sein Bau ist, desto mehr Ueberlegung und Zeit kosten dieselben und desto mehr wird die Aufmerksamkeit während der Beobachtung zum Schaden derselben getheilt. Wer nicht die manuelle Geschicklichkeit hat, um mit einem einfach gebauten Mikroskope zu beobachten, wer für jede Bewegung, anstatt seine Finger zu gebrauchen, eine Schraube nöthig hat, der ist ohnehin zum mikroskopischen Beobachter untauglich, denn er wird vergeblich ein brauchbares Präparat zu verfertigen sich bemühen.«

Diese Worte enthalten vollkommene Wahrheit und können Jenen zur Beruhigung und Ermuthigung dienen, deren Mittel es nicht gestatten, für den Ankauf eines einzigen Instrumentes einige hundert Gulden zu verwenden, die aber gleichwohl den Zustand der Wissenschaft durch eigene Anschauung kennen zu lernen und das Ihrige zur Förderung beizutragen wünschen. Jeder Beobachter, der sich während einiger Jahre fleissig mit mikroskopischen Untersuchungen beschäftigt hat, wird am liebsten ein Instrument mit der allereinfachsten Einrichtung benutzen, und jedem, der sich darauf zu verlegen wünscht, glaube ich (wenn er auch nicht gerade auf die Kosten sehen muss) den auf Erfahrung gestützten Rath ertheilen zu müssen, einem solchen Mikroskope bei der Auswahl den Vorzug zu geben, welches ihn nöthigt, viele von den Be-

wegungen, die an anderen Instrumenten durch künstliche Mittel ausgeführt werden, mittelst der Hand vorzunehmen. Nach ein paar Wochen wird er sich überzeugt haben, dass die bestangebrachten Schrauben und Räder niemals mit einer geübten Hand wetteifern können. Viele Jahre hindurch habe ich ein Mikroskop benutzt mit einem Futteral aus Pappe, mit einem hölzernen Objecttische und mit einem in einen beinernen Ring gefassten Spiegel; kleine Glaskügelchen dienten als Linsen, und die Röhrchen, worein diese gefasst waren, wurden durch ein Triebwerk bewegt, wie man es bei altmodischen englischen Lampen antrifft. Jetzt, wo einige der besten und kostbarsten Mikroskope zu meiner Verfügung stehen, kann ich fast alle Beobachtungen, die ich während jener Zeit mit diesem in mechanischer Hinsicht höchst unvollkommenen Instrumente angestellt habe, nur bestätigen, und wenn etwas hinzuzufügen ist, so kommt dies nicht auf Rechnung grösserer Vollkommenheit der mechanischen Einrichtung, sondern die bessere optische Einrichtung der heutigen aplanatischen Mikroskope ist daran Schuld.

Das Hauptziel der mechanischen Einrichtung eines Mikroskops besteht darin, dass das Rohr, worin der optische Apparat enthalten ist, in die erforderliche Nähe oder Entfernung vom Objecte gebracht werde. Dieses Rohr muss deshalb dergestalt an das Gestell des Mikroskops befestigt sein, dass seine Axe sich gerade über der Mitte des durchbohrten Objecttisches und dem Mittelpunkte des Beleuchtungsapparates befindet. Mittel, welche dazu dienen sollen, diese Stellung dergestalt abzuändern, dass das Rohr über verschiedene Punkte des Objecttisches gebracht werden kann, sind ganz überflüssig, nicht nur weil es einfacher ist, das Object allein zu bewegen, sondern weil jene Einrichtung auch dadurch schadet, dass sie eine gute Regulirung der Beleuchtung, worauf doch so viel ankommt, stört.

Zum Behufe der Annäherung kann entweder das Rohr, oder es kann der Objecttisch beweglich gemacht sein. Beide Methoden haben ihre Vorzüge und ihre Nachtheile, und man trifft die eine wie die andere Einrichtung bei unseren gegenwärtigen Mikroskopen an. Wird der Objecttisch beweglich gemacht, dann behält das Mikroskop stets die nämliche Höhe, was für den Beobachter einige Bequemlichkeit bietet. Auch in dem besonderen Falle, von dem später ausführlich die Rede sein wird, dass man das zusammengesetzte Mikroskop gleichzeitig als tragbares Sonnenmikroskop zu gebrauchen wünscht, ist es vorzuziehen, dass nicht das Rohr, sondern der Objecttisch auf und nieder bewegt wird.

Da jedoch der erstgenannte Vortheil kaum in Betracht kommen kann und auch nur unerheblich ist, der zweite aber nur bei einer besonderen Einrichtung sich geltend macht, so erachte ich es im Allgemeinen mit Mohl und Goring am zweckmässigsten, dass der Objecttisch fest und unbeweglich ist, zumal derselbe alsdann allein jene Sicherheit darbieten kann, die in vielen Fällen, vornämlich beim Gebrauche des Schraubenmikrometers, so wünschenswerth ist. Hierzu kommt noch, dass beim

Auf- und Niederbewegen des Objecttisches immer eine Veränderung mit der Beleuchtung vorgeht, es müsste denn der Beleuchtungsapparat am Objecttische selbst befestigt sein, was aber dessen Gewicht sehr vermehrt und deshalb wieder für die genaue Bewegung nachtheilig ist.

Ist der Objecttisch feststehend, dann kann er so gross und so schwer gemacht werden, als man verlangt und als man für die verschiedenen Apparate, die darauf gestellt werden sollen, nöthig erachtet. Auch ist ein solcher grosser Objecttisch recht bequem, um zu messen und um durch Doppelsehen zu zeichnen.

Ist sorgfältig gearbeitet, dann können die optische Axe des Rohres und der Mittelpunkt des Spiegels während der Bewegung des ersteren genau centrirt bleiben, und damit fällt also auch der Grund weg, den Chevalier (Die Mikroskope und ihr Gebrauch, übersetzt von Kerstein, S. 98) zu Gunsten der Unbeweglichkeit des optischen Apparates angeführt hat.

Stellt man nun auch als Princip hin, dass in der Regel das Rohr des Mikroskops auf und nieder bewegt werden muss, so hat der Opticus doch noch die Wahl zwischen verschiedenen Methoden zur Ausführung dieser Bewegung. Ohne in Einzelnheiten einzugehen, wollen wir auch hier bei den vorzüglichsten stehen bleiben. Die wohlfeilste Einrichtung ist jene, wobei das Rohr in einem zweiten Rohre herauf- und herabgeschoben wird. Aber nur für unbedeutende Vergrösserungen lässt sich bei dieser Einrichtung hinreichende Genauigkeit erzielen, und es muss daher nothwendig noch ein zweites Bewegungsmittel hinzugefügt werden, am besten eine Mikrometerschraube. Deshalb gebe ich der Bewegung durch einen Trieb den Vorzug. Wenn das gezahnte Rad (das übrigens wegen der sanfteren Bewegung besser durch eine Schraube ohne Ende ersetzt werden könnte) und wenn die Stange (Säge) gut gearbeitet sind, und wenn ersteres eine Scheibe von grossem Durchmesser und geränderter Umfange hat, dann lassen sich die gröberen wie die feineren Bewegungen schnell und mit vollkommener Genauigkeit damit ausführen. Auch unterliegt ein solcher Trieb der Abnutzung weniger als eine Mikrometerschraube. Vielleicht dürfte aber die letztere Denen anzurathen sein, die nicht viel mit dem Mikroskope umzugehen pflegen und deshalb eher Gefahr laufen, mit dem Objectivsysteme auf das Object zu stossen, wenn sie die Bewegung mittelst eines Triebwerks statt der stets langsamer wirkenden Schraube ausführen. Deshalb werden auch meistentheils beiderlei Bewegungsarten an den Mikroskopen angebracht.

Die Principien, nach denen der Beleuchtungsapparat eingerichtet sein muss, übergehe ich jetzt, da sie für alle Arten von Mikroskopen (die Bildmikroskpe ausgenommen) gelten, und verspare sie für eine spätere besondere Betrachtung.

167 Von Manchen ist der horizontalen Stellung des Mikroskops vor der verticalen der Vorzug gegeben worden, ja es ist sogar behauptet worden (*Brewster*, *Treatise on the Microscope* p. 166), es würde am besten

sein, wenn man auf dem Rücken liegend in das nach oben gekehrte Mikroskoprohr blickte, weil nur in dieser Stellung die Flüssigkeit auf der Hornhaut gleichmässig nach allen Richtungen sich ausbreitete. Eine derartige Sorge sowohl als die Furcht, dass die übergebogene Stellung Blutandrang nach dem Kopfe bewirken werde, ist gewiss übertrieben, und die angeführten Gründe sind meines Erachtens nicht zureichend, die Unzweckmässigkeit einer verticalen Stellung des Mikroskops darzuthun. Sicherlich verdient dieselbe für die gewöhnliche Untersuchung den Vorzug. Ist das ganze Mikroskop horizontal gerichtet, so können auf den alsdann vertical stehenden Objecttisch keine Flüssigkeiten gebracht werden, und kommt in das Rohr ein rechtwinkelig gebogenes Glasprisma, dann bleibt zwar der Objecttisch horizontal, es findet aber ein nicht unbedeutender Verlust an Licht statt. Nur beim Benutzen der *Camera lucida* zum Zeichnen ist es wünschenswerth, dass das Rohr des Mikroskops horizontal gestellt werden könne. Doch hierauf und auf die verschiedenen anderen katoptrischen Mittel, die dazu dienen können, die Richtung der Strahlen nach Willkür abzuändern, werde ich in einem folgenden Kapitel zurückkommen.

Was von der gesammten mechanischen Einrichtung eines Mikro- 168
skops gilt, dass nämlich alle Theile desselben stark und fest an einander schliessend sein müssen, damit nur solche Bewegungen daran vorkommen, die man ihm absichtlich ertheilt, das gilt auch ganz besonders von seinem Fusse. Derselbe muss die nöthige Schwere und hinreichenden Umfang haben, dass der darauf ruhende Körper gegen das Umstürzen gesichert ist. Sonst ist es ziemlich gleichgültig, ob dieser Fuss aus drei oder aus vier Füssen oder Klauen besteht, die sich zusammenlegen lassen, ob derselbe rund und trommelartig ist, oder ob der Kasten, worin das Mikroskop aufbewahrt wird, zugleich als Fuss dient.

Für die Bequemlichkeit der Beobachtung scheint es mir übrigens wünschenswerth, wenn die jetzt gewöhnlich gebräuchlichen Kästen, in welche das Mikroskop liegend eingeschlossen wird, durch solche ersetzt würden, worin das Instrument stehen kann und die es gestatten, dass dasselbe schnell herausgenommen und nach beendigter Untersuchung wieder hineingestellt wird. Man würde dadurch das lästige Ausbreiten und Zusammenlegen des Fusses vermeiden, dessen Gelenke überdies dadurch auf die Dauer leiden. Man hat dann auch den nicht gering anzuschlagenden Vortheil, dass man das Mikroskop bei Seite setzen und dabei das Glastäfelchen, worauf ein Object befindlich ist, das erst in ein paar Stunden oder am folgenden Tage näher untersucht werden muss, wie etwa bei mikrochemischen Untersuchungen, auf dem Objecttische lassen kann.

Sollte diese Bemerkung auch Manchen von geringer Bedeutung erscheinen, sie ist es doch nicht für Jene, welche täglich von ihrem Mikroskope Gebrauch machen. Gleich mir pflegen schon Viele ihre Mikroskope unter Glasbehälter zu stellen; aber offenbar würde ein gehörig

eingerichteter aufrechtstehender Kasten dem Zwecke noch besser entsprechen.

In dem Bisherigen glaube ich die Hauptpunkte berührt zu haben, die bei der allgemeinen Betrachtung der optischen und mechanischen Einrichtung eines zusammengesetzten Mikroskops in Frage kommen. Eine Menge von Apparaten, die zu verschiedenen Untersuchungen dienen sollen und grossentheils nicht zu den unerlässlichen Erfordernissen für den geübten Beobachter gehören, weil der gesunde Verstand dieselben nicht nur oftmals entbehrlich macht, sondern auch häufig durch bessere, wenngleich weniger zierliche Mittel ersetzt, werden späterhin genannt und beschrieben werden.

Viertes Kapitel.

Katoptrische und katadioptrische Mikroskope.

169 Wie der schädliche Einfluss der chromatischen Aberration Veranlassung war, dass man während eines längeren Zeitraums dem Spiegelteleskope vor dem dioptrischen Fernrohre den Vorzug gab, so führte der nämliche Grund auch zu mancherlei Versuchen, das dioptrische Mikroskop durch katoptrische und katadioptrische Instrumente zu ersetzen. Die Geschichte dieser Bestrebungen ist in mehrfacher Hinsicht interessant, wie aus einer Uebersicht derselben im dritten Buche sich herausstellen wird. Hier werde ich nur in den Hauptzügen die allgemeine Einrichtung der in diese Klasse gehörigen Instrumente schildern und zugleich die Aufmerksamkeit auf jene Thatsachen hinlenken, auf welche bei der Vergleichung dieser Mikroskope unter einander und mit anderen Mikroskopen das Urtheil sich stützen muss, um ihren relativen Werth für mikroskopische Untersuchungen festzustellen.

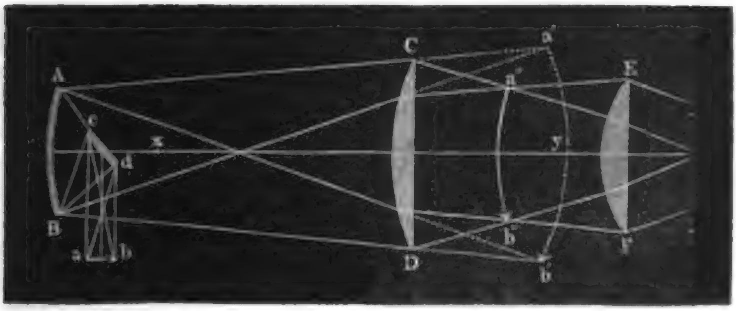
170 Da die Reflexion spiegelnder Flächen eben so, wie das Brechungsvermögen durchsichtiger Körper ein Mittel an die Hand giebt, die Lichtstrahlen willkürlich von ihrem Wege abzulenken, so ist es klar, dass Spiegel, welche eine bestimmte Form besitzen, gleich Linsen vergrösserte Bilder zu erzeugen im Stande sein werden. Da über die Theorie dieser Bilderzeugung durch Hohlspiegel das Nöthige schon oben (§. 15 bis 23) mitgetheilt wurde, so will ich hier nur bemerken, dass sich, wenn man Hohlspiegel statt der Linsen benutzt, sowohl katoptrische einfache Mikroskope (§. 16. e.), als katoptrische Bildmikroskope (§. 16. c.) und katoptrische zusammengesetzte Mikroskope herstellen lassen, welche den gleichnamigen dioptrischen Instrumenten ganz entsprechen.

Die Herstellung der zuletzt genannten, nämlich der katoptrischen zusammengesetzten Mikroskope, wo das Objectiv sowohl wie das Ocular durch Spiegel ersetzt werden müsste, ist zwar nicht unmöglich, da man den Zweck erreichen könnte, wenn man das Ocular aus zwei mit den spiegelnden Flächen einander zugewandten Spiegeln bildete, von denen der vordere durchbohrt ist; indessen ist sie doch bis jetzt unterlassen worden, weil mit dieser Einrichtung manche Schwierigkeiten verknüpft sein würden, welche durch den verhältnissmässig geringen Vortheil eines vollkommenen Achromatismus des Oculars nicht scheinen aufgewogen werden zu können. Beim zusammengesetzten Mikroskope hat man daher, unter Beibehaltung des gewöhnlichen dioptrischen Oculars, nur das Objectiv mit einer katoptrischen Vorrichtung vertauscht, und so entstanden die verschiedenen Arten katadioptrischer Mikroskope, die hier besonders in Betrachtung kommen.

Die Anzahl der theils wirklich ausgeführten, theils auch nur vor- **171**
geschlagenen Einrichtungen dieser Art ist ziemlich gross, und würde wahrscheinlich durch noch andere Combinationen convexer, concaver und ebener Spiegel sich vermehren lassen. Indem ich ihre Aufzählung und Beurtheilung für die Folge verspare, werde ich hier nur ein paar jener Einrichtungen kurz besprechen, damit der Leser, welcher mit dieser Art Mikroskope weniger bekannt ist, vorläufig eine Vorstellung von ihrer Wirkungsweise bekomme.

Eine dieser Einrichtungen ist zuerst von Amici ausgeführt worden; Fig. 68 giebt in sehr verkürztem Maassstabe die optische Zusammensetzung seines katadioptrischen Mikroskops. *AB* ist ein elliptischer Metallspiegel; er ist der Scheitelabschnitt einer Ellipsoide, gegenüber

Fig. 68.



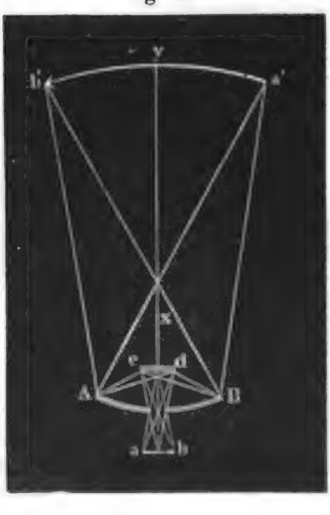
der grossen Axe, wie *ab* in Fig. 11 (S. 14.), und er hat seine beiden Brennpunkte in *x* und in *y*. Von einem in *x* befindlichen Objecte würde also (§. 23) in *y* ein Bild entstehen. In diesem Falle müsste nun aber das Object selbst nothwendiger Weise innerhalb des Mikroskoprohres sich befinden, welches den Spiegel mit dem Ocular in Verbindung setzt, und bei dieser Einrichtung würde es sehr schwer fallen, das Object gehörig

zu beleuchten. Deshalb ist in einiger Entfernung vom näheren Brennpunkte x, zwischen ihm und dem Hohlspiegel, ein kleines ebenes Spiegelchen cd unter einem Winkel von 45° angebracht. Die Distanz der beiden Spiegel, verbunden mit der Distanz des Objectes, muss der Brennweite des grossen Spiegels gleich sein. Das kleine Spiegelchen fängt nun die Strahlen auf, welche von dem darunter befindlichen Objecte ab ausgehen und reflectirt sie nach dem Hohlspiegel AB, so dass ein Bild $a'b'$ entsteht, dessen Mitte sich im anderen Brennpunkte y befindet. Dieses Bild gewinnt dann noch durch ein Ocular an Grösse, ganz in der Weise, wie dies beim gewöhnlichen zusammengesetzten Mikroskope der Fall ist. In der Figur ist ein Huygens'sches Ocular mit einem Collectivglase CD angenommen, wodurch ein etwas verkleinertes Bild $a''b''$ entsteht; dasselbe befindet sich in der nöthigen Entfernung vom Ocular EF, dass es durch dieses vergrössert gesehen werden kann. Man würde hier aber auch ein Ocular von Ramsden benutzen können, und vielleicht ist bei katadioptrischen Mikroskopen demselben vor jenem der Vorzug zu geben, weil dann das durch den Spiegel entstandene Bild nicht vorher verkleinert wird und genau im zweiten Brennpunkte der Ellipse sich bilden kann.

Die Benutzung aplanatischer Oculare, die bei dioptrischen zusammengesetzten Mikroskopen keine besonderen Vortheile bieten, würde bei dieser Art Mikroskope auch sehr passend sein, weil, wenn das Luftbild von chromatischer und von sphärischer Aberration frei ist, auch das Ocular von aller Aberration frei sein kann und selbst frei sein muss, da hier keine einander entgegengesetzten Aberrationen einander aufheben.

Es ist ersichtlich, dass der Hohlspiegel AB mit dem ebenen Spiegelchen cd vollständig die Stelle des Objectivs in einem zusammengesetzten Mikroskope vertritt, und die Stelle der vergrössernden Linse oder des Linsensystems in einem Bildmikroskope. Es würde sogar nicht schwer fallen, jedes dioptrische Mikroskop derartig einzurichten, dass es auch mit katoptrischen Objectiven versehen in Gebrauch gezogen werden könnte. Hierzu würde sich indessen ein anderes katoptrisches Objectiv noch besser schicken, welches von Brewster vorgeschlagen, aber meines Wissens noch nicht in Ausführung gebracht worden ist. Dasselbe ist in Fig. 69 dargestellt. Hier ist ebenfalls ein elliptischer Hohlspiegel AB mit einem kleinen

Fig. 69.



ebenen Spiegelchen in Verbindung gebracht; der erstere ist jedoch durchbohrt zum Durchtritte der von einem Objecte *ab* kommenden Lichtstrahlen, welche auf das ebene senkrecht zur optischen Axe gestellte Spiegelchen *cd* treffen. Ist dieses Spiegelchen in der gehörigen Entfernung zwischen dem Brennpunkte *x* und dem grösseren Spiegel *AB* angebracht, so muss natürlich in dem anderen Brennpunkte *y* ein Bild *a' b'* entstehen, und dieses kann dann, wie bei jedem anderen Bildmikroskope, auf einem Schirme aufgefangen oder durch ein Ocular in noch weiterer Vergrösserung beschaut werden.

Aus den früher (§. 23) mitgetheilten Eigenschaften einer spiegelnden ellipsoidischen Oberfläche ergiebt sich, dass in Fig. 11 ausser den Scheitelabschnitten *ab* oder *st* auch noch andere Abschnitte dieser Oberfläche als katoptrische Objective verwendet werden können. Von Doppler wurde dazu der Abschnitt *cd* empfohlen, womit ein doppelter Vortheil verbunden sein sollte: einmal nämlich kann dann das Object selbst in den Brennpunkt *x* kommen und dadurch die doppelte Reflexion von zwei Spiegeln vermieden werden, womit sich immer ein entschiedener Lichtverlust verknüpft, zweitens aber soll nach Doppler ein durch einen derartigen Spiegelabschnitt erhaltenes Bild jener Abweichung, welche wir als elliptische Aberration bezeichnet haben (§. 23), weniger unterworfen sein. In der That ist der Zwischenraum zwischen den Bildern *g' h'* und *g'''' h''''* von den Spiegelabschnitten *ab* und *cd* bedeutend grösser, als jener zwischen den Bildern *g'''' h''''* und *g''' h'''* von den Spiegelabschnitten *cd* und *fe*, so dass man schliessen muss, die elliptische Aberration sei um so grösser, je mehr der Spiegelabschnitt dem Punkte genähert ist, wo die grosse Axe der Ellipse die Peripherie trifft. Indessen stellt sich diesen Vortheilen der nicht unerhebliche Nachtheil gegenüber, dass der Spiegelabschnitt *cd* auffallend weniger vergrössert als der Scheitelabschnitt *ab*. Die Brennweite müsste daher in einem entsprechenden Verhältnisse verkürzt werden, und die gehörige Beleuchtung würde dann rasch auf grosse Schwierigkeiten stossen; oder man müsste die Vergrösserung dadurch verstärken, dass man der Ellipsoide, von deren Oberfläche der Spiegel einen Theil ausmacht, eine viel grössere Länge ertheilte, wodurch aber nicht blos der Durchmesser des Bildes, sondern gleichzeitig auch der Einfluss der elliptischen Aberration zunehmen würde. Ob die Verwendung eines solchen Spiegelabschnitts, wenn auch nicht ganz nach der unausführbaren und unpraktischen Idee Doppler's, der für ein katadioptrisches Mikroskop von solcher Zusammensetzung ein ganzes Haus gebaut haben will, wirklich vor dem gewöhnlich benutzten Scheitelabschnitte den Vorzug verdient, darüber kann blos die Erfahrung entscheiden, vorausgesetzt nämlich, dass es der Kunst gelinge, einen also geformten Spiegel zu schleifen, was zu bezweifeln indessen noch Gründe vorliegen. 172

Ein katadioptrisches Mikroskop, welches die letztgenannte Einrichtung hätte, würde aber noch den Vorzug besitzen, dass die ganze Spie- 173

geloberfläche wirklich in Gebrauch käme und dass der Oeffnungswinkel zugleich auch das richtige entsprechende Maass der Lichtstärke des Bildes gäbe. Bei den anderen Einrichtungen nämlich ist dies nicht der Fall, da ebensowohl bei der Oeffnung in der Mitte des Spiegels, als bei dem ebenen Spiegelchen, welches den mittleren Strahlenbündeln den Weg versperrt, nur jene Strahlen, welche von seitlich gelegenen Abschnitten des Spiegels reflectirt werden, zur Zusammensetzung des Bildes beitragen. Für solche katoptrische Objective muss deshalb eine Reduction eintreten und man muss berechnen, wie gross die Oeffnung und folglich auch der Oeffnungswinkel eines äquivalenten Hohlspiegels sein würde, dessen ganze Oberfläche wirklich in Gebrauch kommt.

Nehmen wir z. B. einen durchbohrten Spiegel und denken uns der Einfachheit wegen (was ohne auffälligen Irrthum geschehen kann) den Durchmesser des Lichtkegels, wo dieser auf den Spiegel fällt, dem Durchmesser des letzteren gleich. Der Fall ist dann so, dass aus dem kreisförmigen Durchschnitte des Lichtkegels ein ebenfalls kreisförmiger Abschnitt weggenommen ist, und es wird die Oeffnung des äquivalenten Spiegels deshalb dem Durchmesser eines anderen Kreises entsprechen, dessen Inhalt jenem des übrig gebliebenen ringförmigen Abschnitts gleichkommt. Der Radius dieses Kreises oder der halbe Durchmesser der Oeffnung wird gefunden, wenn man aus der Differenz zwischen den Quadraten der Radien des grossen und des kleinen Kreises die Quadratwurzel zieht. Man findet alsdann durch Berechnung, oder indem man den nach diesem Verfahren gefundenen Durchmesser und die Brennweite nach einem vergrösserten Maassstabe auf das Papier bringt, in der Art wie dieses (§. 122) für die Auffindung des Oeffnungswinkels von Linsen angegeben worden ist, den Oeffnungswinkel des äquivalenten Hohlspiegels *).

Angenommen z. B., ein Hohlspiegel von 18^{mm} Durchmesser habe eine Brennweite von 15^{mm}, so wird man den Oeffnungswinkel $= 61^0\,56'$ finden. Befindet sich aber in diesem Spiegel ein kreisförmiger unwirksamer Theil oder eine Oeffnung von 6^{mm} Durchmesser, dann wird der zum wirklichen Gebrauche dienende Abschnitt einem Spiegel gleichkommen, dessen halber Radius $= \sqrt{(81-9)} = 8{,}49^{mm}$ ist. Der ganze Durchmesser der Oeffnung ist dann $16{,}98^{mm}$ und für die nämliche Brennweite erhält man dann einen Oeffnungswinkel von $58^0\,12'$.

174 Vergleichen wir die dioptrischen Objective mit den allein brauchbaren elliptischen katoptrischen Objectiven, so zeigt sich eine Haupt-

*) Ist der halbe Durchmesser des Spiegels $= R$, und der halbe Durchmesser seines unwirksamen Theiles $= r$, dann ist der halbe Durchmesser des äquivalenten Hohlspiegels $R = \sqrt{(R^2 - r^2)}$; und wenn die Brennweite $= p$, der Oeffnungswinkel $= Q$ ist, dann ist $tang.\ \frac{1}{2}\, Q = \frac{R}{p}$.

verschiedenheit darin, dass die ersteren bei allen Abständen Bilder zu erzeugen im Stande sind, die letzteren dagegen einen einzigen bestimmten Abstand verlangen, bei welchem das Bild sich mit Schärfe darstellt. Da es nun bei Bildmikroskopen wünschenswerth ist, mit diesem Abstande wechseln zu können, so sind die katoptrischen Objective, wenn sie auch sonst in der Wirkung mit den dioptrischen übereinstimmten, weniger brauchbar.

Bei katadioptrischen Mikroskopen ist dieses Hemmniss von weit geringerer Bedeutung, und wenn man die Sache blos theoretisch betrachtet, so könnte man sehr geneigt sein, ihnen den Vorzug zu geben vor den dioptrischen Mikroskopen. Bei den ersteren hat man nämlich nichts vom Einflusse der chromatischen Aberration zu fürchten, die bei den letzteren, wie wir gesehen haben, zwar einer grossen Verbesserung fähig ist, aber doch niemals vollkommen beseitigt werden kann. Auch ist die sphärische Aberration, selbst bei Spiegeln mit sphärischer Krümmung, viel geringer als bei Linsen mit gleicher Oeffnung und Brennweite. Haben z. B. beide eine Grösse von 10 Theilen, so beträgt die Länge dieser Aberration:

Sphärischer Hohlspiegel	0,31	Theile,
Gleichseitig biconvexe Glaslinse ($n = 1{,}5$) . .	4,17	»
Linse von der besten Form	2,68	»

Im günstigsten Falle beträgt also die Aberrationslänge bei einem Spiegel nicht mehr als $^1/_8$ bis $^1/_9$ jener Länge, die bei einer Linse von gewöhnlichem Glase beobachtet wird. Uebrigens nimmt die Länge der sphärischen Aberration etwas ab, wenn Glas mit einem grösseren Brechungsindex zur Anwendung kommt (§. 52).

Ueberdies lässt sich der Einflusss dieser Aberration vollkommen beseitigen, wenn man den Spiegeln eine genau elliptische Form giebt. Es bleibt zwar alsdann noch die elliptische Aberration übrig; deren Einfluss ist indessen sehr unbedeutend im Vergleich zu jenem der beiden anderen Aberrationsarten, und in der Mitte des Gesichtsfeldes ist dieser Einfluss geradezu = Null.

Wenn man aber auch zugeben muss, dass diese Vortheile sehr erheblich sind, so reichen sie doch noch nicht zu einem günstigen Entscheide hin, so lange nicht die praktische Ausführung mit der theoretischen Anschauung gleichen Schritt hält. Der Streit zwischen dioptrischen und katoptrischen Mikroskopen ist durchaus der nämliche, wie zwischen dioptrischen und katoptrischen Teleskopen. Abwechselnd hat das eine oder das andere Princip die Oberhand behalten, je nachdem es der Kunst gelang, auf dem einen oder auf dem anderen Wege grössere Fortschritte zu machen, und es lässt sich nicht mit Bestimmtheit vorhersagen, welche Einrichtung endlich den Sieg davon tragen wird.

Mit grosser Wahrscheinlichkeit darf indessen soviel behauptet werden, dass die dioptrischen Mikroskope, zumal nach ihrer so erheblichen

Vervollkommnung in der letzten Zeit, von den katoptrischen niemals vollständig werden verdrängt werden. Die Verfertigung der letzteren ebensowohl wie ihre Benutzung unterliegt grossen Schwierigkeiten, deren Beseitigung sich nicht voraussehen lässt. Eine genau elliptische Gestaltung ist nur mit grosser Mühe und Sorgfalt zu erreichen, namentlich bei Spiegelchen mit kurzer Brennweite. Goring (Micrographia p. 23, 25) berichtet, dass Cuthbert, der bis jetzt unter allen die besten katadioptrischen Mikroskope verfertigt hat, manchmal eine ganze Woche hindurch an einem einzelnen Spiegelchen arbeitete, bevor er demselben die gewünschte Form verschaffte. Nach ihm soll eine Formabweichung, die nicht mehr als $^1/_{1000000}$ Zoll beträgt, schon Einfluss auf die Nettigkeit des Bildes ausüben. Ist auch diese auf Schätzung beruhende Behauptung vielleicht etwas übertrieben, sie beweist doch wenigstens, dass Goring, dem man in Betreff der Mikroskope und namentlich in Betreff der katadioptrischen Mikroskope Kenntniss und Erfahrung nicht absprechen kann, sich vollkommen davon überzeugt hat, welche grosse Mühe die Anfertigung guter katadioptrischer Objective verlangt.

Gelingt es nun aber auch, wie es wirklich gelungen zu sein scheint, katadioptrische Mikroskope herzustellen, die in optischer Hinsicht gleich vollkommen sind als die dioptrischen, die wir bis jetzt kennen, der Gebrauch der ersteren würde dennoch mit Unbequemlichkeiten verbunden sein, die man nicht übersehen darf bei einem Instrumente, welches bestimmt ist, um damit zu arbeiten, und das nicht als Kunst- und Prunkstück in einen Kasten kommen soll, aus dem man es bei seltenen Gelegenheiten herausnimmt, um ein Paar eigends dafür bestimmte Objecte durch dasselbe betrachten zu lassen. Bei fast allen mikroskopischen Untersuchungen müssen die Objecte befeuchtet werden, nicht blos mit Wasser, sondern auch mit flüchtigen Säuren, Essigsäure, Salzsäure, Salpetersäure u. s. w. Wird das Object mit einem Glasplättchen bedeckt, dann haben die Glaslinsen eines dioptrischen Objectivs wenig oder gar nichts davon zu besorgen, dagegen würde ein metallenes Spiegelchen dadurch ganz und gar verdorben werden.

Endlich giebt es noch einen Punkt, den wir bei dieser Vergleichung nicht mit Stillschweigen übergehen dürfen. Beim Gebrauche einer Glaslinse tritt eine sehr ansehnliche Menge von Lichtstrahlen auf der anderen Seite der Linse wiederum heraus. Schon früher führte ich an, dass nach den Berechnungen W. Herschel's (Phil. Transactions 1830. p. 65) von 100 einfallenden Strahlen 94,8 durch eine einfache Linse, 89,9 durch ein Doublet und 85,2 durch ein Triplet gehen werden. Derselbe fand nun aber, dass in Folge der Reflexion einer einfachen spiegelnden Metallfläche von 100 auffallenden Strahlen nur 67,3 reflectirt werden, und dass bei einer doppelten Reflexion, welche meistentheils bei katadioptrischen Mikroskopen vorkommt, von jenen nur noch 45,2 Strahlen übrig bleiben.

Die Resultate, zu denen Tulley (Goring and Pritchard, Micro-

graphia p. 111) bei seinen vergleichenden Versuchen gelangte, stimmen ziemlich hiermit überein. Die Helligkeit eines Newton'schen Spiegelteleskops verhielt sich zu jener eines dioptrischen Teleskops mit einem Objectiv, dessen Oeffnung jener des Spiegels gleich war, wie 1 : 2,56. Goring hat hieraus berechnet, dass die Lichtstärke eines Amici'schen katadioptrischen Mikroskops, dessen optische Zusammensetzung ganz mit jener eines Newton'schen Teleskops übereinstimmt, zur Helligkeit eines zusammengesetzten dioptrischen Mikroskops, welches mit nur Einem Objectivglase versehen ist, sich wie 1 : 2,88 verhält, wenn der kleine ebene Spiegel, wie gewöhnlich, $^1/_3$ vom Durchmesser des grösseren Spiegels hat, und wie 1 : 3,04, wenn (wie es bei den stärksten katoptrischen Objectiven dieser Art nothwendig ist) der Durchmesser des kleinen Spiegels halb so gross ist, wie jener des grossen. Da sich nun, wie wir eben gesehen haben, die Helligkeit einer einfachen Linse zu jener des Triplets verhält wie 94,8 : 85,2, so folgt hieraus, dass bei gleichem Oeffnungswinkel die Helligkeit eines katoptrischen Objectivs nach Amici's Construction zu jener eines aus drei Linsen zusammengesetzten Objectivsystems unter gewöhnlichen Umständen sich wie 1 : 2,59 verhalten wird, und bei stärkeren Objectiven wie 1 : 2,73.

Freilich hat wohl diese grosse Verschiedenheit in der Lichtstärke bei Mikroskopen nicht den grossen Einfluss wie bei Teleskopen, weil jene den grossen Vortheil voraus haben, dass die Objecte stark beleuchtet werden können, und deshalb ist auch Goring der Meinung, dass die stärkere oder schwächere Lichtstärke der Mikroskope kein Moment sei, wonach ihre verhältnissmässige Brauchbarkeit beurtheilt werden dürfe. Darin kann ich ihm aber nicht beistimmen. Auch scheint diese Ansicht mit dem von ihm anerkannten Principe, dass das durchdringende Vermögen eines Mikroskops von der Grösse des Oeffnungswinkels seines Objectivs, mit anderen Worten also von seiner Lichtstärke abhängig ist, nicht vereinbar zu sein. Jeder mikroskopische Beobachter weiss ja, dass eine stärkere künstliche Beleuchtung nicht hinreicht, die fehlende Helligkeit des Instruments selbst ganz zu ersetzen, da bei durchfallendem Lichte die schwächsten Tinten oder jene, welche durch die am wenigsten undurchsichtigen Theile eines Objectes bedingt sind, alsdann ganz verloren gehen, und da überdies hierbei eher Interferenzen entstehen, wodurch Verwirrung in den Gesichtseindruck kommt.

Goring (l. c. p. 115) hat noch auf einen Umstand aufmerksam gemacht, der sich in meiner Erfahrung vollkommen bestätigt hat, das ist nämlich der braune Teint des ganzen Gesichtsfeldes in einem katadioptrischen Mikroskope, welcher dadurch entsteht, dass nicht alle Strahlen gleichmässig durch Metallspiegel reflectirt werden. Es ist diese Färbung dem Auge unangenehm, wenn sie auch kein hinreichender Grund ist, um deshalb allein vom Gebrauche katadioptrischer Mikroskope abzustehen; denn wenn man sie kennt, kann sie auf die Genauigkeit der Beobachtung keinen Einfluss ausüben.

Als Endergebniss dieser Vergleichung glaube ich aussprechen zu dürfen, dass, wenn es auch der Kunst nicht gerade unmöglich sein mag, einmal katoptrische Objective zu verfertigen, welche den besten dioptrischen den Rang ablaufen, die Benutzung der ersteren doch stets eine sehr beschränkte bleiben wird. Sollte die Kunst es soweit gebracht haben, dann kann man einem dioptrischen zusammengesetzten Mikroskope auch wohl noch ein paar katoptrische Objective zufügen, die bei dafür passenden Objecten gebraucht werden. So weit aber die Sache jetzt sich übersehen lässt, wird auch im Verfolg der Zeit das dioptrische Mikroskop, als das zu eigentlichen Untersuchungen dienende Instrument, den Ruhm, den es seit mehreren Jahren sich erworben hat, stets behaupten.

Fünftes Kapitel.

Die Hülfsmittel zu einer veränderten Richtung der Strahlenbündel und zum Projiciren der Bilder.

175 Für manche Zwecke, um z. B. das durchs Mikroskop Wahrgenommene zu messen, zu zeichnen u. s. w., kann es vortheilhaft sein, wenn man die Strahlen, bevor sie ins Auge treten, in eine andere Richtung bringt, so dass die Ebene, in welcher sie sich bewegen, mit der ursprünglichen Richtungsebene einen Winkel bildet, ohne dass jedoch ihre relative Richtung unter einander hierdurch eine Veränderung erleidet.

Man benutzt hierzu verschiedene katoptrische Mittel, die mehr oder weniger bei jeder Art des Mikroskops anwendbar sind und deshalb füglich zusammen in einem besonderen Kapitel betrachtet werden können. Sie zerfallen aber zunächst in zwei Klassen, nämlich:

1) Mittel, wodurch die Lichtstrahlen im Inneren des Mikroskoprohrs eine veränderte Richtung bekommen sollen;

2) Mittel, wodurch die bereits aus dem Mikroskope ausgetretenen Strahlen unter einem anderen Winkel ins Auge geführt werden sollen, so dass sie von einem ausserhalb des Mikroskops befindlichen Punkte zu kommen scheinen.

176 Zur Erreichung dieser Zwecke bietet sich ein doppelter Weg dar: man kann entweder ebene Metallspiegel benutzen, oder man kann das Princip der totalen Reflexion (§. 30) an der Grenze zweier durchsichtiger Medien in Anwendung bringen.

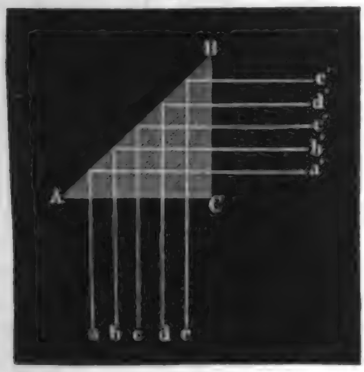
Die Erfahrung lehrt, dass der letztere Weg im Allgemeinen den Vorzug verdient, weil dabei ein geringerer Verlust an Licht stattfindet.

Bei der Reflexion von einer metallischen spiegelnden Oberfläche werden nämlich von den senkrecht auffallenden Strahlen 33 Procent nicht reflectirt, während der Verlust beim Durchtritte durch eine nicht zu dicke weisse Glasplatte nur 8 Procent und selbst noch weniger beträgt.

Wenn man daher den Strahlen innerhalb des Mikroskoprohrs eine andere Richtung geben will, so benutzt man ganz passend Glasprismen, durch deren Form die Richtung bestimmt wird, in welcher die Strahlen weiterhin ihren Weg nach dem Auge fortsetzen werden. 177

Die gebräuchlichste Form ist das rechtwinkelige Prisma, dessen Durchschnitt in Fig. 70 dargestellt ist. Treffen die parallelen Strahlen *a*, *b*, *c*, *d*, *e* senkrecht auf dieses Prisma, so werden sie, ohne eine Brechung zu erleiden, die Hypothenusenfläche *AB* erreichen, und zwar unter einem Winkel von 45°. Da nun gewöhnliches Glas einen Grenzwinkel von etwa 40° besitzt, so erfolgt an dieser Fläche eine vollständige Reflexion unter dem nämlichen Winkel von 45°, die Strahlen bilden daher einen rechten Winkel mit der ursprünglichen Richtung und verlaufen nach *a'*, *b'*, *c'*, *d'*, *e'*. Ist also ein solches Prisma mit der Fläche *BC* dem Auge zugekehrt, so wird man alle Objecte wahrnehmen, die ihre Strahlen nach der Oberfläche *AB* entsenden. Man sieht aber auch zugleich, dass die Gegenstände sich nicht mehr ganz in ihrer ursprünglichen Richtung darstellen. Wie bei jeder Reflexion (§. 9) findet auch hier eine halbe Umkehrung statt, wie aus der Figur zu entnehmen ist, worin die reflectirten Strahlen im Verhältniss zu den einfallenden in umgekehrter Ordnung auf einander folgen.

Fig. 70.



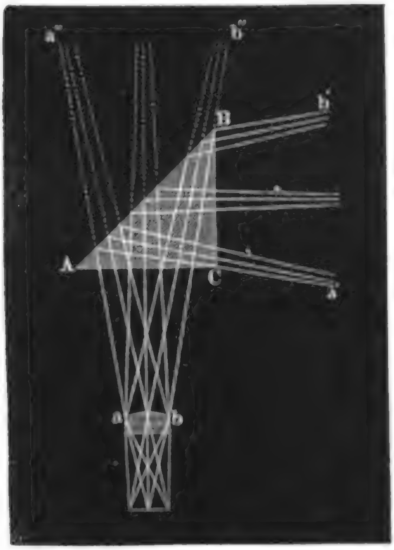
Ein solches rechtwinkeliges Glasprisma lässt sich an allen Punkten des Rohrs zwischen dem Objectiv und dem Ocular anbringen; nur muss das Rohr, wie sich von selbst versteht, alsdann an dieser Stelle rechtwinkelig umgebogen sein. Man sieht in Fig. 71 (a. f. S.), welchen Gang die Lichtstrahlen nehmen, wenn ein solches Prisma dicht oberhalb des Objectivs eines zusammengesetzten Mikroskops angebracht wird. Wäre das Prisma *ABC* nicht da, dann würden die divergirenden Strahlenbüschel, deren Begrenzung in *a* und *b* befindlich ist, in der Richtung der punktirten Linien *a''* und *b''* fortgehen; durch dieses Prisma werden sie nach *a'* und *b'* reflectirt, ohne dass der Grad ihrer Divergenz sich im Geringsten abändert, daher auch die Entfernung, in welcher das Bild entsteht, durchaus die nämliche bleibt.

Der Nutzen eines solchen Prisma, wodurch man in den Stand gesetzt wird, in horizontaler Richtung in ein Mikroskop zu sehen, ohne

dass man den Objecttisch aufrecht zu stellen braucht, was auch die Art der meisten Untersuchungen nicht gestattet, lässt sich aus einem doppelten Gesichtspunkte betrachten.

Zunächst finden es Manche mehr zusagend, wenn sie in ein horizontal gestelltes, statt in ein verticales Mikroskop sehen (§. 167). Dieser Grund würde aber nur in dem Falle für das Prisma geltend gemacht werden können, wenn die horizontale Stellung auf die Schärfe des Bildes keinen schädlichen Einfluss übte. Ein solcher schädlicher Einfluss besteht aber, und zweierlei Ursachen können dabei zusammenwirken. Das Mikroskop verliert nämlich dadurch an Lichtstärke, und wenn der Verlust auch geringer ist als bei einem Metallspiegel, so ist er doch nicht so unbedeutend, dass er ganz ausser Acht gelassen werden dürfte. Ferner muss auch die allergeringste Abweichung der Oberflächen vollkommen ebener Flächen schädlich wirken, da hierdurch in der ursprünglichen relativen Richtung der Strahlen eine Verwirrung entsteht. Dass aber das Schleifen einer vollkommen ebenen Fläche zu den schwierigsten Aufgaben zählt, weiss jeder Mechanicus, und es steht zu erwarten, dass auch die am sorgfältigsten gearbeiteten Prismen keine vollkommen ebene Flächen haben werden. Wie dem auch sei, die Erfahrung hat gelehrt, dass selbst das vortrefflichste Prisma der Schärfe der Bilder einigen Abbruch thut, und deshalb kann man ein solches durchaus nicht als feststehenden Bestandtheil der optischen Einrichtung eines Mikroskops gelten lassen. Auch sind jene, welche sich desselben früherhin bedient haben, jetzt wiederum davon zurückgekommen.

Fig. 71.

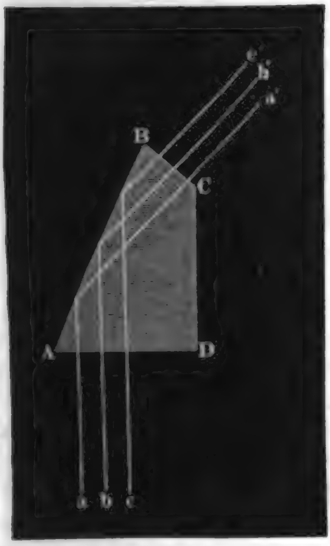


Das Prisma kann aber auch zweitens in Anwendung gezogen werden, um, wenn die Strahlen in eine horizontale Richtung gebracht werden, im Stande zu sein, mittelst der *Camera lucida* und ähnlicher Vorkehrungen, von denen alsbald weiter die Rede sein wird, die Bilder messen und zeichnen zu können. In diesem Falle ist das Prisma nur ein transitorischer Bestandtheil des Mikroskops, und in dieser Anwendung gehört es zu den brauchbarsten Beigaben des Mikroskops. Es ist aber zu diesem Zwecke ausreichend, wenn das Prisma in einem besonderen rechtwinkelig um-

gebogenen Rohre enthalten ist, welches mit einem Ende in das Rohr des Mikroskops passt und an dem anderen Ende die Oculare aufnehmen kann.

Offenbar bietet auch diese Einrichtung bei länger andauernden Untersuchungen, so wie beim Zeichnen, dem Beobachter einige Bequemlichkeit. Indessen entspricht diesem Zwecke, wenn man nicht die *Camera lucida* anwendet, noch besser ein Prisma, welches, wie in Fig. 72, die Strahlen in einer der Haltung des Kopfes besser entsprechenden Richtung reflectirt und bei dessen Gebrauche das Ocular ungefähr einen Winkel von 45° mit dem Rohre des Mikroskops macht.

Fig. 72.



Benutzt man solche Prismen, namentlich das erste, so ist es räthlich, während der Beobachtung das Licht abzuschliessen, welches zur Seite des Oculars in's Auge gelangen könnte; durch dasselbe würde die Pupille kleiner werden, also ein Strahlenbüschel von kleinerem Durchmesser aus dem Mikroskope durchtreten lassen, und das Netzhautbild würde dann weniger Lichtstärke haben. Es genügt hierzu, das Ocular mit einer durchbohrten Scheibe zu umgeben; dieselbe kann aus Pappe bestehen, die mit schwarzem Papier überklebt ist.

Werden reflectirende Prismen benutzt, dann kann man ein Mikro- 178
skop auch so einrichten, dass die vorderste Objectivlinse nach oben ge-

Fig. 73.

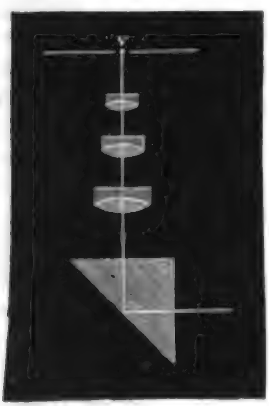
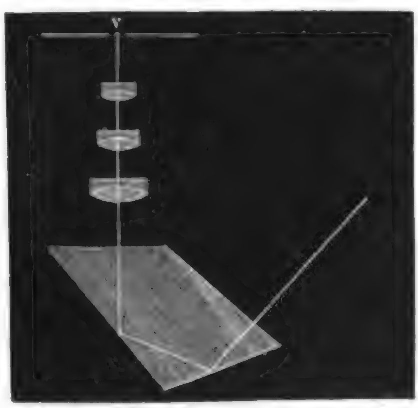


Fig. 74.



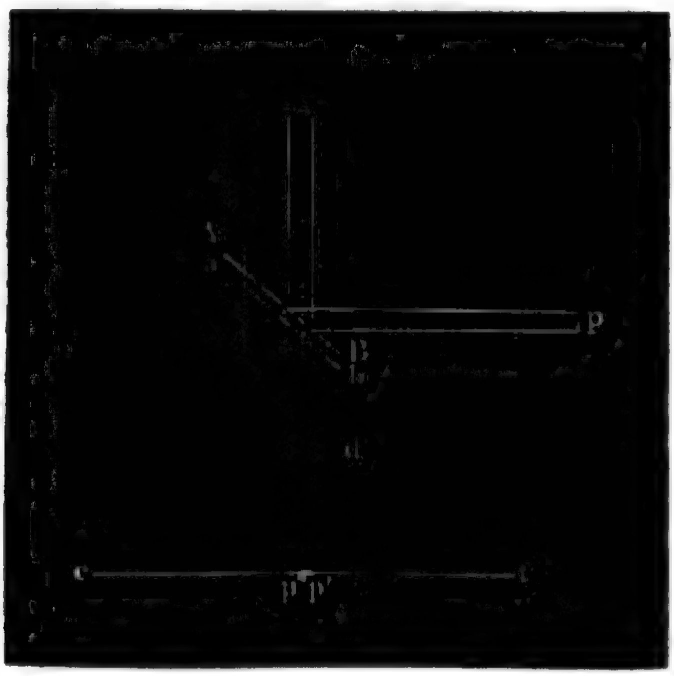
kehrt ist, so dass man das Object darüber statt darunter bringen kann, was namentlich bei mikrochemischen Untersuchungen sich vortheilhaft bewährt, so wie in jenen Fällen, wo man Deckplättchen zu vermeiden wünscht.

Dies kann entweder mittelst eines rechtwinkeligen Prisma geschehen oder mittelst eines solchen, welches durch wiederholte Reflexion das Strahlenbündel unter einem mehr oder weniger spitzen Winkel nach dem Ocular reflectirt. Beiderlei Fälle sind in Fig. 73 und 74 dargestellt.

179 Eine andere Klasse katoptrischer Mittel hat, wie erwähnt, den Zweck, die Richtung der Strahlenbündel zu verändern, wenn sie das Mikroskop verlassen haben, aber bevor sie noch ins Auge treten.

Das einfachste Mittel dieser Art hat man in einer gewöhnlichen Glasplatte. Bringt man eine solche Glasplatte *AB* (Fig. 75) in einen Winkel von 45° zur Axe des Auges, so werden die von einem Objecte *p* ausgehenden Strahlen, die mit der Glasfläche ebenfalls einen Winkel von 45° bilden, nach dem Auge zu reflectirt werden, und man wird das Bild des Objectes in einer Richtung sehen, welche zur wahren Richtung des Objectes rechtwinkelig ist. Da nun die Glasplatte durchscheinend ist, so sieht das darüber gehaltene Auge auch zugleich die darunter befindlichen Objecte: ist z. B. *ef* der Durchschnitt einer Fläche, dann wird ein Bild *p'* darauf wahrgenommen werden, oder wie man sich gewöhnlich auszudrücken pflegt, das Bild *p'* wird darauf projicirt. Befindet sich nun an dieser Stelle ein Stück Papier, so wird man gleichsam eine Zeichnung des Bildes darauf wahrnehmen.

Fig. 75.

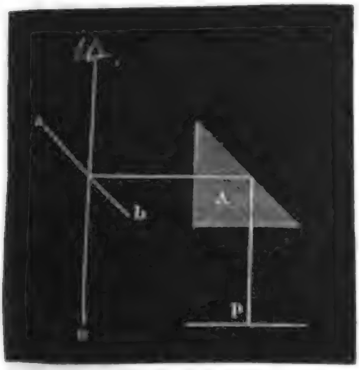


Eine solche kleine Glasplatte kann nun unter dem genannten Winkel über der Oeffnung eines Oculars befestigt werden, was leicht mit etwas Wachs ausführbar ist; man wird dann die Bilder im Gesichtsfelde in einer Fläche wahrnehmen, die mit dem Rohre des Mikroskops parallel liegt. Bei verticaler Stellung des Mikroskops liegen die Bilder ebenfalls in verticaler Fläche; liegt das Rohr dagegen horizontal, dann sieht man die Bilder ebenfalls in horizontaler Ebene. Da nun die letztgenannte Ebene zum Zeichnen und Messen den Vorzug verdient, so muss das Rohr bei diesen und den meisten übrigen derartigen Apparaten horizontal gestellt werden, und hierzu eignet sich am besten das rechtwinkelige Prisma.

Noch zweckmässiger ist es aber, unmittelbar in gleicher Höhe mit dem Glasplättchen selbst und zur Seite des Mikroskoprohrs ein solches

rechtwinkeliges gläsernes Prisma anzubringen (Fig. 76). Das Mikroskop kann alsdann seine gewöhnliche verticale Stellung behalten, denn der in *p* befindliche Bleistift oder andere Objecte ausserhalb des Mikroskops werden zugleich mit dem Objecte *o* im Gesichtsfelde wahrgenommen werden. Diese Einrichtung lässt sich füglich an einem Ringe befestigen, den man nach Bedürfniss mit dem Ocular in Verbindung setzt oder wieder wegnimmt, und dabei ist es räthlich, das Prisma *A* um eine Axe beweglich zu machen, so dass die reflectirende Fläche unter verschiedene Winkel gebracht werden kann.

Fig. 76.



Benutzt man nun aber, wie in 180
Fig. 75, als Reflexionsmittel ein Glasplättchen, dann wird nur ein kleiner Theil der unter einem Winkel von 45⁰ darauf fallenden Strahlen reflectirt werden. Legt man einige Untersuchungen Fresnel's zu Grunde, so würde dieser Bruchtheil sogar nur $^1/_{18}$ des einfallenden Lichtes sein, und die übrigen $^{17}/_{18}$ würden ihren Weg durch das Glas fortsetzen. Neben diesem Lichtverluste kommt aber auch noch eine andere Unannehmlichkeit vor. Die Lichtstrahlen nämlich, welche an die Unterfläche *a b* kommen, erleiden dort noch eine zweite Reflexion. Da nun aus der Figur ersichtlich ist, dass die an beiden Oberflächen reflectirten Strahlen keineswegs zusammenfallen, so sieht das Auge ausser dem Bilde *p'* noch ein daneben liegendes mehr verschwimmendes Bild *p''*, welches durch die Reflexion an der unteren Fläche entstanden ist.

Letztere Unannehmlichkeit lässt sich auf doppelte Weise beseitigen. Zuvörderst könnte man ein Glasplättchen von so geringer Dicke gebrauchen, dass der Rand des zweiten Bildes nicht mehr sichtbar ist, weil er beinahe mit jenem des ersten Bildes zusammenfällt. Die dünnsten geschliffenen Glasplättchen reichen aber hierzu noch nicht aus. Auch wenn man Deckplättchen nimmt, die nur $^1/_5{}^{mm}$ dick sind, wird man noch immer einen doppelten Rand um die Bilder wahrnehmen. Besser entspricht dem Zwecke ein ebenes Glimmerblättchen. Glimmer lässt sich leicht in Blättchen spalten, die nur $^1/_{20}$ bis $^1/_{30}{}^{mm}$ dick sind; bei solcher Dünne aber bemerkt man nicht mehr die doppelten Ränder an den Bildern. Wirklich habe ich gefunden, dass ein solches Glimmerblättchen von etwa 10 bis 12 Quadratmillimeter, welches mit etwas Wachs über der Oeffnung des Oculars unter einem Winkel von 45⁰ festgeklebt wird, die kostbarere *Camera lucida* und andere Apparate der Art in sehr vielen Fällen entbehrlich macht.

Man kann aber auch den nämlichen Zweck dadurch erreichen, dass

man statt eines Glasplättchens von gewöhnlicher Dicke ein solches anwendet, welches dick genug ist, dass die Strahlen, welche von der unteren Fläche reflectirt werden, nicht zugleich mit jenen von der oberen Fläche in die Pupille eintreten können. Das Glas muss dann 5 bis 6^{mm} dick sein. Wäre *ABcd* in Fig. 75 der Durchschnitt einer solchen Glasplatte, und *AB* die obere, *cd* die untere Fläche, so ist aus der Figur deutlich zu entnehmen, wie die von der unteren Fläche reflectirten Strahlen seitlich von der Pupille auftreffen, das Bild im Auge also nur von jenen Strahlen gebildet wird, welche von der oberen Fläche reflectirt werden.

181 Aus dem bisher Erwähnten folgt, dass man bei dem einen wie bei dem anderen Verfahren immer einen grossen Theil des auf die spiegelnde Oberfläche fallenden Lichtes verliert, weil daselbst keine vollständige Reflexion stattfindet. In vielen Fällen wird man allerdings wohl damit auskommen; hat aber das Bild im Gesichtsfelde des Mikroskops wenig Lichtstärke, dann ist es besser, man benutzt Wollaston's *Camera lucida*, weil in dieser nicht mehr Licht verloren geht, als beim Durchgange durch Glas im Allgemeinen. Sie ist in Fig. 77 im Durchschnitte dargestellt. *ABCD* ist ein kleines gläsernes Prisma, an dem *B* rechtwinkelig ist, *C* aber 135⁰ beträgt. Die Strahlen, welche von einem in *p* befindlichen Objecte kommen, werden dann zweimal vollständig reflectirt, bei *a* und bei *b*, und erreichen das Auge in der Richtung, als ob das Object in *p'* befindlich wäre. Kommt die Oberfläche *BD* vor die Oeffnung eines Oculars, dann wird das Bild unter einem rechten Winkel auf eine darunter befindliche Fläche projicirt.

Fig. 77.



182 Es giebt noch andere Methoden, mittelst deren man das nämliche Ziel erreichen kann, die aber zum Theil auf einem anderen Principe beruhen. In Fig. 78 ist *a* der Durchschnitt eines kleinen runden Metallspiegels, der nach seinem Erfinder der Sömmering'sche Spiegel genannt wird; er hat ungefähr 2^{mm} Durchmesser, ist also kleiner als die Pupille. Wird derselbe unter einem Winkel von 45⁰ einem Objecte zugekehrt, dann treten die reflectirten Strahlen unter gleichem Winkel ins Auge. Da aber die Pupille etwas grösser ist als das Spiegelchen, so sieht das Auge gleichzeitig auch die Objecte, die in der nämlichen Richtung liegen; denn von der Fläche *de* werden jene Strahlen, welche von den Punkten *b*, *c* u. s. w. ausgehen, zugleich mit den durch das Spiegelchen reflectirten Strahlen, an dessen Rändern sie vorbeigehen, das Auge erreichen, und durch die Pupille zur Netzhaut gelangen. Es wird also hier, gleichwie in den anderen Fällen, das Bildchen *p'* projicirt, und ein

solches Spiegelchen kann bei einem Mikroskope gleichwie eine *Camera lucida* benutzt werden.

Oberhäuser hat auch hier das Princip der totalen Reflexion mit Vortheil benutzt, und das Spiegelchen mit einem sehr kleinen rechtwinkeligen Prisma vertauscht. Es erhellt dies aus Fig. 79, wo *a* der Durch-

Fig. 78.



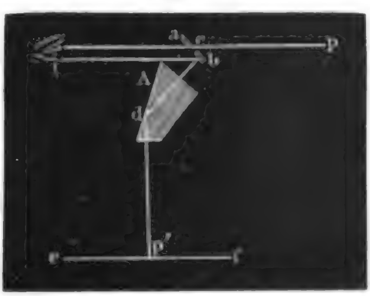
Fig. 79.



schnitt des Prisma ist. Die reflectirende Hypothenusenfläche ist hier ebenfalls kleiner als die Pupille, die Wirkung und die Anwendung im Uebrigen auch ganz gleich wie beim Sömmerring'schen Spiegelchen, und somit findet das über den Gang der Strahlen Gesagte auch hier vollkommene Anwendung.

Noch eine andere Einrichtung ist hier zu erwähnen, die zuerst von 183
Amici angewendet wurde und im Princip zwar von der vorigen etwas abweicht, aber doch vollkommen das nämliche Ziel erstrebt. Sie ist Fig. 80 dargestellt, und besteht aus einem rechtwinkeligen gläsernen Prisma, sowie aus einem runden durchbohrten Spiegelchen, dessen Durchschnitt in *ab* dargestellt ist. Dieses Spiegelchen bildet mit der Axe des Mikroskops einen Winkel von 45°; der obere Rand des Prisma und der untere des Spiegelchens greifen aber etwas über einander. Dieses Prisma nun ist dergestalt angebracht, dass ein Strahl, welcher von einem in der Fläche *ef* gelegenen Punkte *p'* kommt, bei *d* eine totale Reflexion erleidet, dann wiederum durch das Spiegelchen

Fig. 80.



nach dem Auge reflectirt wird und durch die Pupille tritt, zugleich mit jenem Strahle in der optischen Axe, der von *p* durch die Oeffnung *c* im Spiegelchen tritt.

Diese Vorrichtung unterscheidet sich also darin von der vorigen, dass das Auge durch die Oeffnung des Spiegelchens unmittelbar das Gesichtsfeld des Mikroskops übersieht. Eine Projection der wahrgenommenen Bilder findet also nicht statt, aber die in der Fläche *ef* befindlichen Objecte, die Hand des Zeichners, das Papier u. s. w. werden auf das Gesichtsfeld projicirt. So wird also das Endziel, beide zu gleicher Zeit in der nämlichen Fläche zu sehen, ebenfalls erreicht, und dabei bietet diese Einrichtung noch den Vortheil, dass man bequemer in einer sitzenden Stellung arbeiten kann.

184 Die Anwendung aller dieser Apparate und ähnlicher, die im dritten Buche beschrieben werden sollen, erfordert einige Vorsichtsmaassregeln, wenn ihre Wirkung möglichst vollkommen ausfallen soll. Wenn ich weiterhin vom Zeichnen und Messen mikroskopischer Objecte im Besonderen handeln werde, soll auch zugleich auf die Vorkehrungen aufmerksam gemacht werden, welche bei der Anwendung für diese bestimmten Zwecke zu treffen sind. Hier sei nur soviel bemerkt, dass die Fläche, auf welche das Bild projicirt wird, immer nur wenig Licht zu reflectiren braucht, damit die Pupillaröffnung möglichst gross ist. Findet also die Projection auf ein darunter liegendes weisses Papier statt, so muss man mit der Hand oder durch einen anderen Gegenstand einen Schatten darauf fallen lassen. Eine schwarz gefärbte Oberfläche, z. B. von einer Schiefertafel, entspricht im Allgemeinen am besten, und da man darauf zugleich mit einem Griffel zeichnen kann, so wende ich dieselbe vorzugsweise an.

185 Endlich glaube ich hier noch ein Verfahren erwähnen zu müssen, wodurch zwar die Richtung der Strahlen keine Veränderung erleidet, wodurch man aber ziemlich den nämlichen Zweck erreicht, wie durch die bereits angegebenen katoptrischen Hülfsmittel, nämlich das Projiciren der Bilder, welche von dem einen Auge wahrgenommen werden, auf jene Bilder, welche das andere Auge sieht. Man nennt dies das Doppeltsehen. Hält man einen undurchsichtigen Gegenstand, einen Finger z. B., in einiger Entfernung vor das eine Auge, so dass dadurch ein etwas entfernter Gegenstand diesem Auge verdeckt wird, so wird man ihn noch mit dem zweiten Auge gewahren, und bei einer bestimmten Richtung des letzteren wird es den Anschein haben, als sähe man den Gegenstand durch den Finger hindurch. Bei einiger Uebung wird man so etwas auch durchs Mikroskop sehen. Beobachtet man mit einem Auge das Object im Gesichtsfelde und blickt mit dem anderen auf einen zur Seite des Mikroskops befindlichen Körper, z. B. auf einen Bleistift, einen Cirkel u. s. w., so werden sich diese Körper zugleich mit dem Objecte im Gesichtsfelde zu zeigen scheinen. Schaut man z. B. mit dem linken Auge ins Mikroskop, und es befindet sich auf dessen rechter Seite

ein Stück Papier, dann sind Gesichtsfeld und Papier auf einander projicirt, und auf letzterem wird man die Umrisse der Bilder zeichnen können, die sich im ersteren befinden.

Dieses Doppeltsehen erfordert allerdings einige Uebung. Man kann sich aber dieses Verfahren bald aneignen, und ich kann es angehenden Beobachtern nicht genug empfehlen, einmal deshalb, weil Bilder dadurch auf die einfachste Weise projicirt werden, und dann auch deshalb, weil nur bei diesem Verfahren durchaus kein Licht verloren geht. Besonders der letzgenannte Vortheil ist sehr erheblich; denn bei allen früher erwähnten Methoden ist man, wenn die Vergrösserungen nur etwas bedeutender sind, genöthigt, die Objecte stark zu beleuchten, und dadurch wird die Wahrnehmung ihrer feinsten Bestandtheile sehr beeinträchtigt. Beim Doppeltsehen braucht man deshalb nicht besorgt zu sein; die einzige Vorkehrung, um die Illusion vollständiger zu machen, besteht darin, dass man der Oberfläche, auf welche das Bild projicirt werden soll, am liebsten eine Färbung ertheilt, die möglichst mit jener des Gesichtsfeldes übereinstimmt. Verschiedenfarbiges Papier, das man auf den Objecttisch legt, entspricht diesem Vorhaben am besten.

Sechstes Kapitel.

Mittel zur Theilung der Strahlenbündel. Multoculäre Mikroskope.

In zweifacher Hinsicht kann es wichtig sein, Mittel zu besitzen, wo- 186
durch man die Strahlenbündel, welche von einem Objecte ausgehen, in zwei oder mehr Büschel zu trennen vermag, deren jedes ein Bild für sich hervorbringt, das man durch ein besonderes Ocular vergrössert wahrnehmen kann. Zuvörderst kann dann das nämliche mikroskopische Object von mehr denn Einem Beobachter auf Einmal angeschaut werden, zweitens aber wird der einzelne Beobachter, der mit beiden Augen durch zwei Oculare sieht, wodurch er vollkommen gleiche Bilder des vergrösserten Objectes empfängt, durch Vereinigung beider Gesichtseindrücke zu einem Gesammteindrucke eine Vorstellung von der körperlichen Form der Objecte bekommen, die ihm, wenn er nur mit Einem Auge darauf blickt, aus bekannten Gründen nicht entstehen kann.

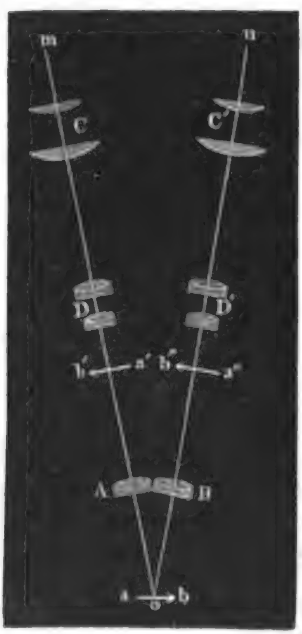
Schon vor längerer Zeit haben Einzelne die erheblichen Vortheile eingesehen, die sich daraus ergeben würden. Die früheren darauf gerichteten Bestrebungen werden im dritten Buche Erwähnung finden. Hier wollen wir nur andeuten, dass man zwei Mikroskope zu vereinigen strebte, deren Objectivgläser in schiefer Richtung dem nämlichen Objecte

zugekehrt wurden, während die wechselseitige Distanz ihrer Oculare der Distanz zwischen beiden Augen des Beobachters entsprach. Es versteht sich von selbst, dass diese Einrichtung nur bei Objectiven von verhältnissmässig grosser Brennweite anwendbar und deshalb nur in beschränktem Maasse brauchbar ist. Auch hatten die ersten Versuche keinen nachhaltigen Erfolg, und erst vor Kurzem haben Riddell (*American Journ. of Sc. and Arts.* 1853. June p. 266) in Amerika, Nachet in Frankreich und Wenham (*Quarterly Journ. of Microscopic Science.* 1853. Oct. Nr. V. *Transact.* p. 10) in England Mittel ersonnen und in Ausführung gebracht, wodurch das vorgesteckte Ziel auf eine weit vollkommenere Weise erreicht werden kann. Ohne mich an die Zeitfolge zu binden, in welcher die verschiedenen darauf berechneten Methoden erfunden und bekannt gemacht wurden, will ich sie hier nach einander vom theoretischen Standpunkte betrachten und auch jene mit aufnehmen, die ich selbst mit mehr oder weniger glücklichem Erfolge versucht habe.

187 An die früheren bereits angedeuteten Bestrebungen reiht sich zunächst das folgende Verfahren an.

Werden zwei ganz gleiche aplanatische Linsen oder Linsensysteme *A* und *B* (Fig. 81) dergestalt neben einander gestellt, dass ihre Axen einen gewissen Winkel mit einander bilden, dann werden von einem darunter liegenden Objecte hinter oder über den beiden Linsen zwei Bilder *a'b'* und *a''b''* entstehen. Jedes dieser Bilder wird gleich gross wie das Object sein, wenn die Linsen um die doppelte Brennweite davon entfernt sind. Betrachtet man nun diese Bilder durch zwei zusammengesetzte Mikroskope, woran *C* und *C'* die Oculare, *D* und *D'* die Objective darstellen, so kann man, indem man dem Rohre derselben die gehörige Länge giebt und den Winkel *mon* der Convergenz der Augenaxen anpasst, mit beiden Augen zugleich auf den nämlichen mikroskopischen Gegenstand blicken. Wären nun die Bilder *a'b'* und *a''b''* so rein und scharf, dass man annehmen dürfte, sie vergegenwärtigten das Object *ab* selbst, dann könnte man bei beiden Mikroskopen Objectivsysteme von kurzer Brennweite gebrauchen, wie man beim gewöhnlichen zusammengesetzten Mikroskope zu thun pflegt.

Fig. 81.



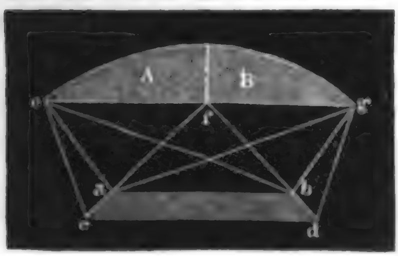
Wir sind aber noch weit davon entfernt, dass unsere jetzigen aplanatischen Linsen und Linsensysteme die Objecte in solcher Weise darstellen und

dass man hoffen dürfte, auf diesem Wege das Ziel zu erreichen. Selbst dann, wenn man zur Erzeugung der Bilder Linsensysteme benutzt, die eine ziemlich lange Brennweite von 1 bis 2 Centimeter haben, ist der Unterschied zwischen den Bildern und dem Objecte zu Folge einiger Versuche, die ich ausdrücklich darüber angestellt habe, zu gross. Es lässt sich daher dieses Mittel nicht mit Erfolg zur Darstellung binoculärer Mikroskope verwenden. Dies ist um so mehr zu bedauern, weil eine solche Einrichtung besser als irgend eine andere den Anforderungen des wirklichen stereoskopischen Anschauens mikroskopischer Objecte scheint entsprechen zu müssen. Vielleicht können aber spätere Verbesserungen in der Anfertigung von Linsen dazu führen.

Ehe ich weiter gehe, wird es nöthig sein, im Allgemeinen etwas 188
über die Theorie der binoculären Mikroskope mitzutheilen, jener nämlich, wo die von einem Objecte ausgehenden Strahlenbüschel in zwei getheilt werden, deren jedes ein eigenes Bild erzeugt. Es ist dies um so nöthiger, damit man den Grund und die Bedingungen kenne, weshalb die körperliche Form der Objecte in diesem Falle einigermaassen anders zu sein scheint, als wenn man mit blossem Auge durch ein gewöhnliches Stereoskop sieht.

In Fig. 82 sollen *A* und *B* die beiden Hälften einer Linse vorstellen und *abcd* soll ein Object von einer bestimmten Dicke sein. Die beiden Linsenhälften werden dann Strahlen von der ganzen Oberfläche *ab* bekommen: von der Seite *ac* werden keine Strahlen zur Hälfte *B* gelangen, wohl aber zur Hälfte *A*, und umgekehrt empfängt *B* allein jene Strahlen, welche von *bd* ausgehen. Wenn also auch die besonderen Bilder eines mikroskopischen Objectes, welche durch die einzelnen Theile einer Linse erzeugt werden, grösstentheils einander gleich sind, und wenn namentlich in beiden alle jene Strahlen enthalten sind, welche von der gerade im Focus liegenden Oberfläche ausgehen, so verhält es sich doch anders mit den Rändern, also mit jenen Theilen des Objectes, woran man dessen Körperlichkeit erkennt. Deshalb fehlt dem Bilde immer jener Theil, von welchem keine Strahlen zum Linsenabschnitte gelangen, der das Bild formt. Betrachten nun beide Augen zu gleicher Zeit die zwei verschiedenen Bilder, deren jedes durch eine Linsenhälfte entstanden ist, dann werden diese bei gehöriger Convergenz der Augenaxen auf einander projicirt und zu einem Gesammtbilde vereinigt werden, woran die Merkmale der Körperlichkeit, nämlich Höhe und Tiefe, in höherem Maasse vorkommen als an jedem einzelnen der beiden Bilder. Man würde hier vielleicht den Einwurf erheben können, dass in jenem Bilde, welches durch die ganze

Fig. 82.



Linse gebildet wird, bereits alle Theile enthalten sein müssen, welche einem jeden einzelnen Bilde angehörig sind, und dass man daher schon mit Einem Auge ein mikroskopisches Object stereoskopisch müsse sehen können, was doch nicht der Fall ist. Man halte aber dabei fest, dass das Projiciren der Bilder auf einander eine active Handlung ist, die sich dem Bewusstsein durch eine deutliche Wahrnehmung der Körperlichkeit des Objectes offenbart, und insofern dem stereoskopischen Sehen mit beiden unbewaffneten Augen entspricht, wo der nämliche Gegenstand durch jedes Auge in einer etwas verschiedenartigen Richtung gesehen wird, beiderlei Wahrnehmungen aber zu einer einzigen zusammenschmelzen und den Eindruck des Körperlichen machen.

189 Es giebt eine nicht geringe Anzahl von Mitteln, wodurch die erzielte Spaltung des Strahlenbündels erreicht werden kann. Wir wollen der Reihe nach bei jedem derselben verweilen.

Ein Verfahren hält gleichsam die Mitte zwischen dem bereits beschriebenen und dem folgenden, jenes nämlich, wo man das Objectiv durch einen senkrechten, seine Mitte treffenden Schnitt in zwei Hälften theilt. So lange die beiden Hälften dann noch in der ursprünglichen Stellung an einander anliegen, wird nur ein einziges Bild entstehen; verschiebt man aber beide Hälften, oder neigen dieselben unter einem bestimmten Winkel gegen einander, dann erhält man durch jede Objectivhälfte ein besonderes Bild, und die beiden Bilder können möglicher Weise dergestalt aus einander weichen, dass man jedes durch ein besonderes Ocular zu betrachten im Stande ist.

Hat nun auch diese Spaltung des Objectivs in zwei Hälften, wie wir später sehen werden, zu einzelnen bestimmten Zwecken eine nützliche Anwendung gefunden, so ist doch nicht zu erwarten, dass man davon jemals Gebrauch machen werde beim Anfertigen binoculärer Mikroskope mit einigermaassen stark vergrössernden Linsensystemen. Die praktische Ausführung muss an der Schwierigkeit scheitern, so kleine Linsen, wie die unserer gegenwärtigen Objectivsysteme, zu durchschneiden; auch müssten diese Hälften ausserdem noch ganz genau unter einander centrirt sein.

190 Das einzige Mittel zur Erreichung des erstrebten Ziels bietet sich darin dar, dass man das Strahlenbündel nach dem Eintritte ins Mikroskop zwingt, sich in zwei Büschel zu theilen, wovon das eine nach rechts, das andere nach links geht, so dass jedes für sich ein gesondertes Bild giebt, welches durch jedes der beiden Oculare aufgenommen werden kann.

Auf zwei Wegen ist dieses Ziel erreichbar, auf dem dioptrischen und auf dem katoptrischen. Wir wollen nach einander beide betreten, und den Werth der verschiedenen Einrichtungen von theoretischer und praktischer Seite würdigen.

191 Die dioptrischen Mittel, obwohl sie später in Gebrauch gezogen worden sind, wollen wir hier zunächst berücksichtigen.

Betrachtet man ein Object durch ein mit Facetten versehenes Glas, so gewahrt man eben so viele Bilder als Facetten da sind. Jede Facette wirkt nämlich wie ein Prisma und lenkt den vom Objecte darauf fallenden Theil der Strahlen ab. Bringt man daher irgendwo über das Objectiv eines zusammengesetzten Mikroskops eine Vereinigung von Prismen, die dergestalt an einander gefügt sind, dass die Kanten der brechenden Winkel nach innen gekehrt sind, dann wird das Strahlenbündel, welches aus dem Objectiv kommt, sich in eben so viele bildformende gesonderte Strahlenbüschel theilen, als brechende Oberflächen da sind.

Bevor nun aber die getrennten Bilder der mikroskopischen Wahrnehmung zugänglich werden, ist noch ein Haupthinderniss aus dem Wege zu räumen. Jene durch Strahlenbrechung entstandenen Bilder nämlich werden von den Farben des Spectrums umsäumt und deshalb fehlt ihnen ganz und gar die Bestimmtheit der Contouren, die zu einer genauen Beobachtung unerlässlich ist. Wenham, der zuerst auf die Idee kam, zur Anfertigung eines binoculären Mikroskops dieses Mittel in Anwendung zu ziehen, hat dieser Unvollkommenheit auf folgende Weise abgeholfen. Er setzte zwei Kronglasprismen mit einem Flintglasprisma auf die Weise wie in Fig. 83 mit einander in Verbindung. Zwischen die Oberflächen der Prismen ist Canadabalsam gebracht. Aus dem Früheren (§. 60) erhellt nun, dass der Achromatismus der Bilder nicht gestört werden wird, wenn zwischen den Brechungswinkeln beider Arten von Prismen und dem Dispersionsvermögen des Glases, woraus sie bereitet sind, ein gehöriges Verhältniss besteht. Man ersieht aber auch aus der Figur, dass man sich die ganze Combination eigentlich als zwei an einander gefügte Doppelprismen (*ae* und *fc* das eine, *be* und *fd* das andere) denken kann, von denen jedes die Hälfte der aus dem Objectiv divergirenden Strahlen empfängt und in schiefer Richtung nach oben leitet; hier treffen dann die Strahlen auf die beiden Oculare, deren Axen natürlich mit den Axen der Strahlenkegel zusammenfallen müssen und sich mithin in einer entsprechenden schiefen Stellung befinden. Der Winkel, den die Axen beider Strahlenkegel mit einander bilden, hängt einerseits von der Form der Prismen ab, andererseits vom Brechungsindex der benutzten Glassorten. Im Allgemeinen darf man annehmen, dass dieser Winkel 15° bis 18° betragen muss, um der gewöhnlichen Richtung der Augenaxen

Fig. 83.



zu entsprechen. Um der Ungleichheit in der Entfernung beider Augen bei verschiedenen Personen Rechnung zu tragen, sollte man jedes der beiden Oculare in ein besonderes Rohr einsetzen können, das in einem anderen weiteren Rohre sich auf und abschieben lässt. Bei grösserer Distanz beider Augen müsste aber die Entfernung der Oculare und des Objectivs von einander zunehmen, bei kleinerer Entfernung müsste sie abnehmen.

192 Die katoptrische Einrichtung zur Spaltung der Strahlenbündel kann auf verschiedene Art gemacht werden.

1) Man bewirkt (Fig 84) zwei Reflexionen auf vier spiegelnden Oberflächen *cd* und *ab*, *ed* und *fg*, die abwechselnd so gestellt werden, dass sie mit der Axe des Objectivs *L* Winkel von 45° und 135° bilden, also zwei und zwei einander parallel sind. Alsdann werden die Axen der beiden reflectirten Strahlenkegel mit der Axe des ursprünglichen Strahlenkegels parallel bleiben, und ihr gegenseitiger Abstand wird von jenem der Spiegelflächen *ab* und *fg* abhängen.

Fig. 84.

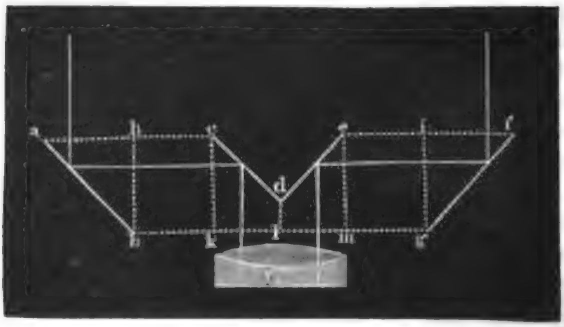


Fig. 85.

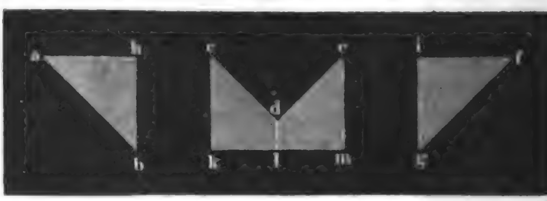
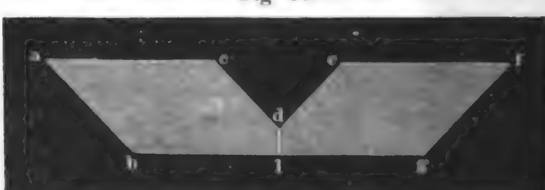


Fig. 86.



Man kann dieses Ziel, wie es Riddell zuerst gethan hat, dadurch erreichen, dass man vier rechtwinkelige Glasprismen *abh* und *ckld*, *dlme* und *igf* (Fig. 84 und Fig. 85) benutzt, von denen die beiden mittleren, des besseren Aneinanderschliessens wegen, an den Kanten senkrecht abgeschliffen sind.

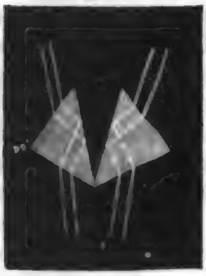
2) Statt der vier rechtwinkeligen Prismen braucht man auch blos zwei rautenförmige, *abldc* und *edlgf* (Fig. 86), zu nehmen, die offenbar den nämlichen Zweck erfüllen, gleichwie

3) ein einzelnes Stück Glas, welches in der nämlichen Form geschliffen wird.

Wenn der gegenseitige Abstand der reflectirenden Oberflächen veränderlich sein muss, wie in den eigentlichen binoculären Mikroskopen, so wird die Anwendung von vier freien Prismen den Vorzug verdienen; wo aber dieser Abstand immer unverändert bleiben kann, wie bei einem Mikroskope, wodurch zwei Beobachter gleichzeitig sehen sollen, da ist eine der beiden anderen Formen vorzuziehen, weil man alsdann weniger Licht durch die wiederholte Reflexion verliert.

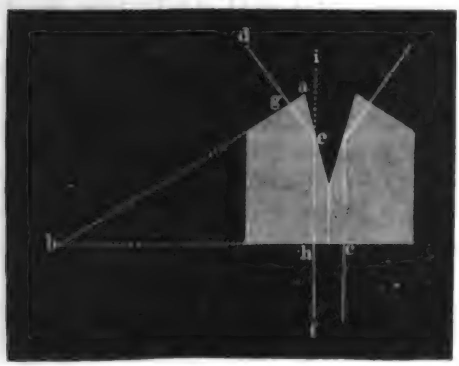
Man brauchte auch nur (Fig. 87) zwei rechtwinkelige Prismen so zu stellen, dass ihre Hypothenusenflächen einen mehr oder weniger spitzen Winkel mit einander bilden: die Strahlen werden dann in zwei neuen Richtungen reflectirt werden. Für ein binoculäres Mikroskop ist indessen diese Einrichtung schon deshalb weniger passend, weil die Prismen, wegen der erforderlichen schiefen Stellung, ungemein gross sein müssten, um alle Strahlen aufzufangen und zu reflectiren, und dazu kommt noch, dass wegen des schiefen Lichteinfalls ein nicht ganz unerheblicher Antheil durch Reflexion verloren gehen würde.

Fig. 87.



Jedenfalls verdienen solche Prismen den Vorzug, deren für den Ein- und Austritt der Strahlen bestimmte Flächen senkrecht auf der Axe der Strahlenbündel stehen. Bei einem Mikroskope, durch welches zwei Beobachter gleichzeitig sehen sollen, scheint mir jene in Fig. 88 im Durchschnitte dargestellte Form der Prismen den Vorzug zu verdienen, da man hierbei nur eine einzige Reflexion in jedem Prisma hat, und der Winkel, unter welchem die Strahlen reflectirt werden, ein solcher ist, dass der Kopf beim Durchsehen durch das Mikroskop in einer bequemen, etwas vorn übergeneigten Stellung sich befindet. Man würde sogar durch noch mehr verminderte Neigung der Spiegelflächen den Winkel, unter welchem die Strahlen austreten, so weit verkleinern können, dass eine solche Einrichtung in einem binoculären Mikroskope zu gebrauchen wäre. Nur müssten die Röhren eines solchen Instruments eine übermässige Länge haben, und deshalb ist eine solche Einrichtung hierzu doch weniger brauchbar.

Fig. 88.



Uebrigens besteht noch ein Unterschied zwischen dieser Einrichtung

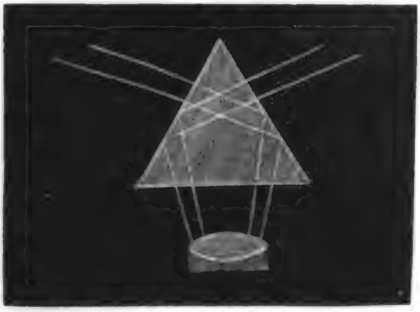
und der zuerst erwähnten: bei der wiederholten Reflexion der Strahlen in der nämlichen Ebene erleidet die relative Stellung der Theile, aus denen das umgekehrte Bild zusammengesetzt ist, keine Veränderung, während dagegen eine einzige Reflexion eine halbe Umkehrung zur Folge hat. Indessen ist dieses nur von geringer Bedeutung für die Beobachtung.

Betrachtet man Fig. 88, so sieht man auf der Stelle, dass die beiden an einander gelegten Prismen, wenn sie die Strahlen unverändert ohne Farbenzerstreuung durchgehen lassen sollen, Theile eines gleichschenkeligen dreiseitigen Prisma *abc* sein müssen, woran die Neigungswinkel *a* und *c* einander gleich sind, und *ac* oder die Basis des Prisma den Durchschnitt der reflectirenden Fläche darstellt. Der Winkel, welchen der reflectirte Strahl mit der Spiegelfläche bildet, ergänzt die Winkel *a* und *c* immer auf 90°. Denn da die Winkel *ega* und *ehc* rechte Winkel sind, und $gae = ech$ ist, so ist der der Winkel *a* oder *c* auch $= 90° - gea$ oder *hec*. Der Winkel *dei*, den der reflectirte Strahl *ed* mit der Verlängerung des einfallenden Strahls *ef* bildet, ist dem Winkel bei *b* gleich. Denn in dem Viereck *gbhe* sind die Winkel *egb* und *ehb* rechte, und somit ist die Summe der beiden anderen $geh + gbh = 180°$; da aber $geh + dei$ ebenfalls $= 180°$, so müssen die Winkel *dei* und *gbh* einander gleich sein. In dem Maasse nun, als der Reflexionswinkel *geh* grösser wird, werden auch die Winkel *a* und *c* an Grösse zunehmen müssen und der Winkel *b* wird sich verkleinern. Man hat es so ganz in seiner Gewalt, den Strahlen alle gewünschten Richtungen zu geben durch veränderte Gestaltung der Prismen, wenn ihre Durchschnitte nur immer gleichschenkelige Dreiecke oder Theile derselben sind.

Unter diesen verschiedenen Prismenformen giebt es aber eine, die sich durch eine besondere Eigenschaft auszeichnet, jene nämlich, wo der Durchschnitt des Prisma nicht blos gleichschenkelig, sondern auch gleichseitig ist. Da alle Winkel dann 60° haben, so müssen bei einem solchen Prisma die Strahlen unter einem Winkel von 30° mit der reflectirenden Oberfläche, oder von 60° mit dem Perpendikel reflectirt werden. Zugleich folgt aber auch aus dem bereits Angeführten, dass man ein solches Prisma als aus zwei gleichschenkeligen dreiseitigen Prismen zusammengesetzt ansehen kann, an denen die aufwärts gerichteten Seiten gleichzeitig als Spiegelflächen wirken können. Ein einzelnes so geformtes Prisma, wenn es, wie Fig. 89, über ein Objectiv kommt, ist also im Stande, den aus dem Objectiv kommenden Strahlenkegel in zwei zu theilen, und man erreicht damit also gleich gut das Hauptziel, als wenn man zwei Prismen von anderer Form mit einander vereinigt. Das Hauptverdienst dieser Einrichtung, die wir Nachet verdanken, besteht also in ihrer Einfachheit. Denn es wäre ein Irrthum, zu glauben, ein anderer Vortheil sei noch darin gelegen, dass ein geringerer Verlust an Licht einträte, als bei zwei combinirten Prismen, weil die mittleren Strahlen, welche an der Stelle der Vereinigung in mehr oder weniger starkem Maasse reflectirt werden,

in diesem Falle ungehindert durchgehen. Das verhält sich freilich so; aber wie die Vereinigungsebene zweier Prismen, so wirkt an einem einzelnen gleichseitigen dreieckigen Prisma der obere Rand. Es mag diese Kante noch so scharf geschliffen sein, immer werden einige der durch die Mitte des Prisma gehenden Strahlen dort zurückgehalten werden.

Fig. 89.



Durch ein einzelnes solches Prisma über dem Objectiv hat man also schon ein Mikroskop, wodurch gleichzeitig zwei Beobachter sehen können. Da aber die Haltung des Kopfes dabei etwas beschwerlich ist, so kann, wenn man es vorzieht, auf der Bahn der Strahlen zu beiden Seiten noch ein zweites Prisma angebracht werden, wodurch die Strahlen eine bessere Richtung bekommen. Giebt man jedem dieser zugefügten Prismen eine solche Stellung, dass die Reflexionsebene mit jener des unteren Prisma einen Winkel von 90° bildet, dann ist das Bild auch ganz in die gerade Lage gebracht, weil jede der beiden Reflexionen eine halbe Umkehrung bewirkt hat.

Bei einem binoculären Mikroskope kann Nachet's Ausführung (Fig. 90) angewendet werden, der drei gleichgrosse gleichseitige dreieckige Prismen benutzt, von denen die beiden seitlichen B und C bestimmt sind, die Strahlen in senkrechter Richtung nach oben zu jedem der beiden Augen zu bringen. Vortheilhafter ist es aber vielleicht, wenn man diesen seitlichen Prismen eine schwache Neigung giebt, welche der Convergenz der Augenaxen entsprechend ist. Da ferner die oberen und inneren Flächen dieser Prismen nicht vollständig zum Durchlassen von Strahlen in Gebrauch kommen, so kann man an jedem Prisma einen Theil der einwärts gerichteten Kante, etwa bis zu den Linien ab und cd, ohne Schaden wegnehmen; es wird dadurch der Vortheil erreicht, dass die über den Prismen B und C befind-

Fig. 90.



lichen Rohre nicht ungebührlich weit zu sein brauchen. Endlich versteht es sich von selbst, dass der Apparat eine solche Einrichtung haben muss, um den wechselseitigen Abstand beider Prismen und damit auch der Ocularrohre auf eine der relativen Augendistanz verschiedener Beobachter entsprechende Weise abändern zu können.

Werden dergleichen Prismen in einer Horizontalebene combinirt, so lässt sich das Strahlenbündel auch noch in eine grössere Anzahl gesonderter Büschel spalten. Um dies deutlich zu machen, betrachten wir zunächst den Fall, wo zwei solche Prismen auf die Weise wie in Fig. 91 neben einander gestellt sind. Im unteren Theile der Figur sieht man die Prismen mit einer ihrer senkrechten Seiten; darüber aber ist ihre horizontale Projection abgebildet. Die geneigten Flächen müssen dann die doppelte Länge der senkrechten haben, so dass die Vereinigung der Grundflächen ein Quadrat bildet für den kreisförmigen Durchschnitt des Strahlenkegels. Es

Fig. 91.

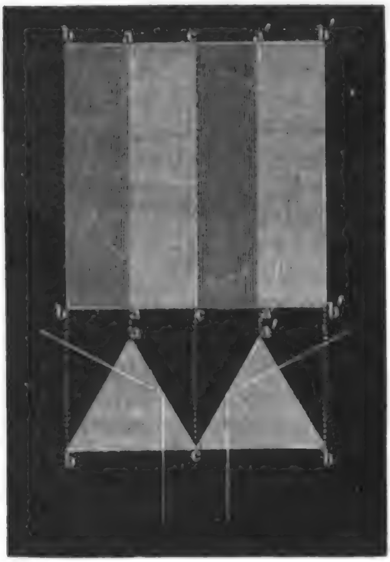


Fig. 92.

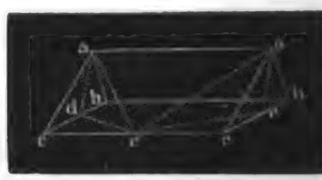


Fig. 93.

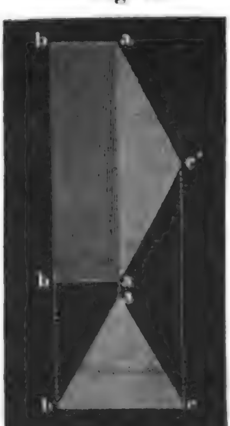
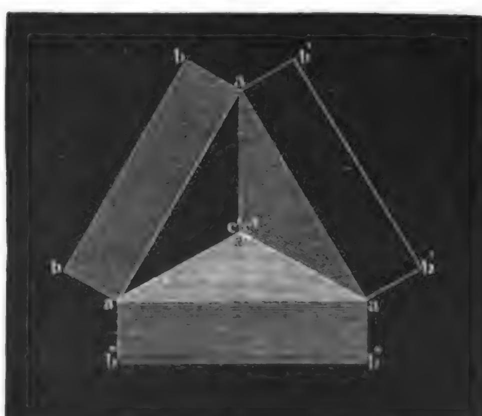


Fig. 94.



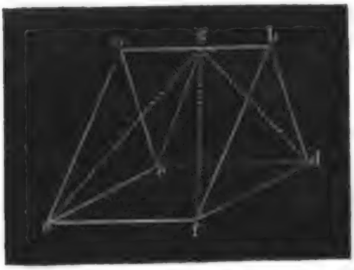
tritt dann eine Theilung in zwei Strahlenbüschel ein. Bringt man nun drei solche Prismen in der Weise an einander, dass ihre Kanten sich berühren, so wird jedes Prisma das Nämliche leisten; dabei wird aber, wie man leicht einsieht, der ganze mittlere Theil des Lichtbündels unverändert durch den offenen dreieckigen Raum hindurchgehen, der sich solchergestalt bilden würde. Dem hat Nachet dadurch vorgebeugt, dass er die eine Hälfte an jedem Prisma so weit abschleift, dass sie, alle zusammengefügt, ein gut schliessendes Ganzes darstellen. In Fig. 92 ist durch *aa*, *bb* und *cc* ein Prisma in seiner ursprünglichen Form angegeben; zugleich aber werden durch die punktirten Linien *ad*, *ac'*, *dc'* auf der einen und *ac'*, *ae*, *c'e* auf der anderen Seite die Umrisse der senkrechten Flächen *adc'* und *ac'e* angedeutet, bis zu denen die eine Hälfte des Prisma abgeschliffen wird. Der Winkel *dc'e* ist dann gleich 120°. Von der spiegelnden Oberfläche *acca* ist das Dreieck *ac'a* übrig geblieben, so dass das Prisma, von oben und von der Seite angesehen, wie in Fig. 93 erscheint. Die Vereinigung von drei solchen Prismen ist Fig. 94 dargestellt. Da jeder der drei Winkel c', c'' und $c''' = 120°$ ist, so stellt die Vereinigung der drei Prismen ein geschlossenes Ganzes dar, und zwar von oben angesehen in der Form einer dreiseitigen Hohlpyramide, an deren Seitenflächen *ac'a*, *ac''a*, *ac'''a* die Strahlenbüschel reflectirt werden; die unter einem Winkel von 60° dagegen geneigten Flächen *abba*, *ab'b'a*, *ab''b''a* aber lassen dieselben hindurchtreten.

Entspricht der Winkel *c'* einem anderen aliquoten Kreisabschnitte, so würde man durch Combination von dergleichen Prismen die Theilung des Strahlenbündels natürlich noch weiter treiben können. Bei einem Winkel von 90° z. B. werden vier Prismen an einander gefügt werden können und so weiter. Indessen ist man bis jetzt nicht über die Dreizahl hinaus gegangen, nur bis dahin hat Nachet die Bilder auf diesem Wege vervielfältigt. Auch versteht es sich von selbst, da mit jeder Spaltung auch ein entsprechender Verlust an Licht gepaart ist, dass diese Spaltung keine unbegrenzte sein kann.

Dazu kommt noch die Schwierigkeit, die Grenzflächen der verschiedenen Prismen so genau an einander zu fügen, dass dort so wenig Licht als möglich verloren geht, die sich natürlich mit der Zahl der einzelnen Prismen steigert. Aus diesem Grunde habe ich bei einem Mikroskope für vier Personen, das ich mir habe anfertigen lassen, folgender Einrichtung, die sich auch zugleich durch grössere Einfachheit empfiehlt, den Vorzug gegeben. Man kann nämlich statt einer Vereinigung von Prismen auch eine aus Einem Glasstücke geschliffene Pyramide nehmen. Der Durchschnitt einer solchen Pyramide wird stets ein gleichseitiges Dreieck sein müssen, wie sich aus folgender Betrachtung ergiebt. In Fig. 95 (a. f. S.) sei ein halb von der Seite gesehenes gleichseitiges dreikantiges Prisma dargestellt, dessen Wirkung oben geschildert wurde Seine Grundfläche *ecdf* ist ein regelmässiges Viereck. Gesetzt nun, von diesem Prisma würden zu beiden Seiten zwei gleich grosse Stücke

abgeschnitten, so dass eine regelmässige vierseitige Pyramide mit der Grundfläche *ecdf* und der Spitze *g* übrig bliebe, so werden von der also erhaltenen Pyramide zwei Seitenflächen (*gef* und *gcd*) die übrig gebliebenen Theile der schiefen Spiegelflächen des Prisma sein und so, wie früherhin, die darauf fallenden Strahlen reflectiren und durchlassen. Da nun aber aus der Construction folgt, dass die beiden anderen einander gegenüber stehenden Flächen (*gce* und *gfd*) der Pyramide den beiden ersteren vollkommen gleichen, so findet hier das Nämliche statt, und folglich theilt sich das ganze auf die Unterfläche einfallende Lichtbündel in vier Lichtbüschel.

Fig. 95.



Was nun von einer vierseitigen Pyramide gilt, dass passt eben so gut auf alle anderen Pyramiden mit einer gewissen Anzahl Seitenflächen deren Durchschnitt ein gleichseitiges Dreieck ist. Immer werden die Strahlen, die auf einer der Flächen reflectirt werden, auf der gegenüberliegenden Fläche unverändert nach aussen treten. Theoretisch bietet also die Herstellung von Mikroskopen mit sechs, acht, zehn Ocularen keine Schwierigkeit; nur versteht es sich von selbst, dass die praktische Ausführung bei zu grosser Vervielfältigung der Bilder alsbald auf unübersteigliche Grenzen treffen dürfte.

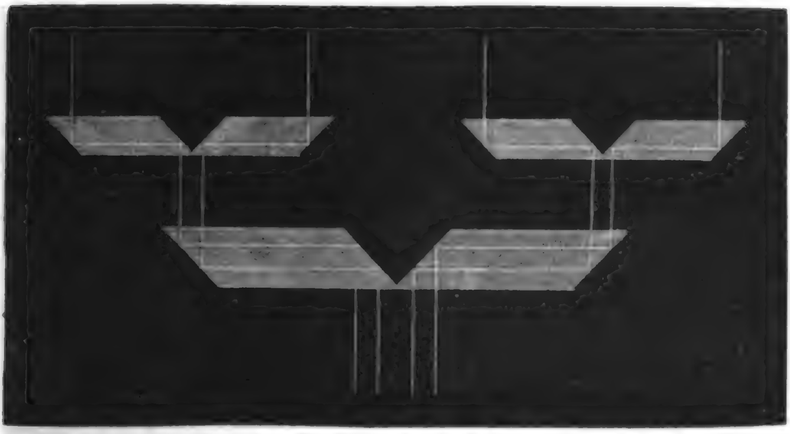
Auf eine Eigenthümlichkeit der Bilder, welche von den solchergestalt reflectirten Strahlen erzeugt werden, muss ich hier noch aufmerksam machen. Dieselben können nämlich nicht alle vollkommen gleich sein, weil die Reflexionswinkel nicht in der nämlichen Ebene liegen. Alle Bilder erleiden eine halbe Umkehrung, und da nun das Object unverändert seinen Platz behält, so muss die Richtung, in welcher das Bild diese halbe Umkehrung macht, mit der veränderten Richtung der Reflexion sich stets verändern. Nur die Bilder sind einander ganz gleich, welche durch gerade gegenüber liegende Spiegelflächen hervorgebracht werden. Wenn man will, kann man aber diese Ungleichheit ganz beseitigen, indem man in die Bahn der Strahlen nochmals Prismen bringt, deren Reflexionsflächen mit den ersteren Winkel von 90° bilden. Dadurch wird die ursprüngliche Richtung wiederum hergestellt, welche das Object selbst hat. Freilich wird aber hierdurch der Preis der Einrichtung nur noch gesteigert.

Aus allem Bisherigen ergiebt sich die Möglichkeit, die Strahlenbüschel willkürlich zu vervielfachen, mag man dazu eine Vereinigung von Prismen oder eine Pyramide mit einer entsprechenden Flächenzahl anwenden, oder mag man das bereits getheilte Strahlenbündel weiterhin noch dadurch theilen, dass man die Strahlen zum zweiten Male über reflectirende Flächen vertheilt. Man sieht daher leicht ein, dass die

Theilung eine beliebige Anzahl Male sich wiederholen lässt und auf mancherlei hier nicht näher zu erörternde Weisen verändert werden kann.

Als Beispiel erwähne ich hier blos eine solche wiederholte Theilung mittelst über einander liegender Reihen rechtwinkeliger oder entsprechender rautenförmiger Prismen, wie es Fig. 96 zeigt. Nur würde es bei

Fig. 96.



einer solchen Combination vortheilhaft sein können, wenn die Prismen der obersten Reihe rechtwinkelig über den untersten ständen, so dass die Oculare an die Eckpunkte eines Quadrats kämen.

Mikroskope, wodurch ein und dasselbe Object gleichzeitig von 193
mehreren Augen wahrgenommen werden kann, lassen sich also auf dioptrischem sowohl als katoptrischem Wege in mehr denn einer Weise herstellen. Aber nur die Erfahrung kann darüber entscheiden, welche von den verschiedenen Methoden praktisch am besten ausführbar ist und am sichersten zum Ziele führt. Diese Erfahrung ist bis jetzt noch zu sparsam, um bereits ein Urtheil fällen zu können. Doch vermag man schon jetzt mit vieler Wahrscheinlichkeit die Sphäre abzugrenzen, innerhalb deren das Princip der Strahlenbündeltheilung sich anwenden lässt.

Ein Hauptgrund, weshalb man diese Theilung nicht zu weit treiben darf, liegt in der Schwächung der Lichtstärke der Bilder. Sie ist nicht blos die nothwendige Folge der Theilung selbst, auch beim Durchtritte durchs Glas und beim Erreichen der brechenden Oberflächen geht noch ein Theil der Strahlen verloren. Freilich kann man, indem man die Beleuchtung verstärkt, diesen Verlust zum Theil wieder ausgleichen; vollständig ist dies aber niemals möglich. Die Spaltung des Strahlenbündels, welches aus der Oeffnung einer Linse heraustritt, kommt nämlich einer Verkleinerung der Oeffnung dieser Linse gleich; wir werden aber weiterhin sehen, dass das optische Vermögen eines Mikroskops guten Theils von der Grösse des Oeffnungswinkels der Objective abhängt. Dazu kommt

noch, dass trotz aller Sorgfalt in der Bearbeitung der benutzten Prismen und wie rein und homogen auch die dazu verwendeten Glasmassen sein mögen, dennoch gar sehr zu besorgen steht, sie werden einen, wenn auch geringen Einfluss auf die Nettigkeit und Schärfe der Bilder ausüben. Ueberdies muss auch aus früher (§. 29) entwickelten Gründen der Durchtritt der divergirenden Strahlen durch so dicke Glasmassen, wie hier erforderlich sind, schon an und für sich einen schädlichen Einfluss ausüben, welcher der Vergrösserung der sphärischen Aberration gleichkommt, es müssten denn die Objectivsysteme entsprechend eingerichtet sein durch Anbringen einer Modification, wie sie beim Gebrauche dicker Deckplättchen erforderlich ist.

Wo demnach ein Mikroskop zur eigentlichen Untersuchung mühsam wahrnehmbarer Einzelnheiten benutzt wird, da wird man wohl niemals einem solchen den Vorzug geben, dessen optisches Vermögen in dem Maasse abnimmt, als die Bilder sich vervielfältigen. Dagegen können solche Mikroskope, durch welche zwei, drei oder selbst vier Beobachter das nämliche Object gleichzeitig sehen, sich sehr nützlich bewähren bei Demonstrationen, namentlich solcher Gegenstände, zu deren Sichtbarmachung kein zu grosses optisches Vermögen erfordert wird. Ein solches Instrument hat in manchen Beziehungen sogar einen Vorzug vor einer gleichen Anzahl einzelner Mikroskope, weil man in der nämlichen Zeit den gleichen Gegenstand einer grossen Anzahl von Personen zur Ansicht bringen kann, und weil der Lehrer, der gleichzeitig auch durch ein Ocular sieht, im Stande ist, nicht nur die Aufmerksamkeit auf den bestimmten Theil des Objectes zu lenken, der sich im Gesichtsfelde befindet, sondern auch durch Verschiebung des Objectträgers der Reihe nach alle verschiedenen Theile ins Gesichtsfeld zu bringen. Da der letztgenannte Umstand bei der Demonstration von grossem Gewicht ist, so erscheint es wünschenswerth, dass bei jedem derartigen Instrumente ein Ocular nahe genug dem Objecttische sich befindet, um diesen bequem mit den Händen erreichen zu können.

Dass die mechanische Einrichtung eines solchen Mikroskops je nach seiner optischen Zusammensetzung verschieden ausfallen muss, versteht sich von selbst, und halte ich es auch für ganz überflüssig, darüber hier in Einzelnheiten einzugehen. Nur das sei noch erwähnt, dass jedes Ocular mit einer besonderen Einrichtung versehen sein muss, um die Entfernung zwischen dem Objectiv und dem Ocular etwas zu verlängern oder zu verkürzen, je nach der verschiedenen mittleren Sehweite der Beobachter. Das einfache Ineinanderschieben zweier Röhren wird hier der Erschütterung wegen nicht genügen; die nöthige Festigkeit wird vielmehr durch ein Triebwerk erreicht werden müssen.

In Betreff der mechanischen Einrichtung wird man aber die Frage aufwerfen können, ob es nicht möglich sei, um unnöthige Kosten zu vermeiden, ein einzelnes Mikroskopgestell mit den dazu gehörigen Objectiven dergestalt einzurichten, dass man es nach Willkür durch Aufschrau-

ben besonderer Stücke als gewöhnliches zusammengesetztes Mikroskop oder als Mikroskop für mehrere Beobachter benutzen kann. Das kann in der That geschehen; an einem der Mikroskope, die ich im täglichen Gebrauche habe, können jetzt, nachdem ein paar kleine Veränderungen daran vorgenommen worden sind, auch jene Apparate angebracht werden, deren man zur Beobachtung mit zwei oder mit vier Augen bedarf. Es ist aber dazu eine eigene Form des Gestells nöthig; jene der jetzt am meisten gebräuchlichen Mikroskope ist dazu weniger passend, weil dieselbe nicht gestattet, dass die Prismen nahe genug über das Objectiv kommen. Sollte aber der Wunsch, dem gewöhnlichen Mikroskope einen solchen Apparat beizufügen, häufiger rege werden, dann wird die Einsicht der Optiker auch wohl die Mittel ausfindig machen, diesen Wunsch zu erfüllen.

Was das eigentliche binoculäre Mikroskop betrifft, so ermangele ich ausreichender eigener Erfahrung, um ein Urtheil darüber zu fällen, ob ein solches Instrument zur stereoskopischen Wahrnehmung mikroskopischer Objecte von Nutzen ist oder nicht. Ich habe nur Einmal Gelegenheit gehabt, durch ein solches Mikroskop zu sehen, und da war ich nicht im Stande, die beiden Gesichtsfelder zu Einem zu vereinigen. Indessen kann dies auf Rechnung einer wirklichen Verschiedenheit meiner beiden Augen kommen, und dann auch wohl noch auf den Umstand, dass durch einen vieljährigen fast ausschliesslichen Gebrauch des rechten Auges bei mikroskopischen Beobachtungen dieses letztere, wenn ich so sagen darf, zu sehr daran gewöhnt geworden ist, die Bilder mikroskopischer Gegenstände allein aufzunehmen. Ich fürchte indessen, dass viele mikroskopische Beobachter sich in gleichem Falle mit mir befinden, und dass auch sie nur mit Mühe die Beobachtung gleichmässig auf beide Augen zu vertheilen sich gewöhnen werden. Vielleicht kann aber auch Uebung in den Stand setzen, die anfängliche Mühsamkeit zu überwinden, bei denen wenigstens, deren Augen kein zu verschiedenes Accommodationsvermögen haben. Besteht diese Verschiedenheit nur in einem mässigen Grade, dann lässt sich dadurch helfen, dass eins von den Ocularen etwas hineingeschoben oder herausgezogen wird. Da aber hierdurch zugleich die Vergrösserung verändert wird und zum stereoskopischen Sehen Bilder von gleicher Grösse erfordert werden, so versteht es sich von selbst, dass diese Verbesserung auf sehr enge Grenzen beschränkt ist.

Bei Beurtheilung dessen, was man vom binoculären Mikroskope zur Erkennung der körperlichen Form zu erwarten hat, kommt vor allem 194
auch die Tiefe des Gesichtsfeldes in Betracht. Allerdings kann beim mikroskopischen Sehen durch Anstrengung des Accommodationsvermögens die Tiefe, bis zu welcher das Auge durchzudringen vermag, etwas vermehrt werden und daher auch für verschiedene Augen etwas differiren. Doch kann diese Differenz nur eine geringe sein. Ich erachte deshalb die Mittheilung der nachverzeichneten Messungen, wozu mein rechtes Auge benutzt wurde, nicht für überflüssig.

Brennweite des benutzten Objectivs.	Vergrösserung des Mikroskops bei 25 Centimeter mittlerer Schweite.	Tiefe des Gesichtsfeldes	
		wahre.	scheinbare.
46,5mm	39	0,144mm	5,62mm
12,1	150	0,070	10,50
9,07	200	0,058	11,60
4,00	452	0,041	18,53
2,67	680	0,029	19,62
1,47	1240	0,014	17,36
	1800	0,010	18,00

Die Messungen wurden in der Weise ausgeführt, dass zuerst ein Object (ein Flügelschüppchen von *Pieris brassicae*) genau in den Focus gebracht, dann aber daraus soweit entfernt wurde, dass sein allgemeiner Umriss und seine Form eben noch erkennbar waren, obschon die Ränder bereits in einer weit kürzeren Entfernung ihre Schärfe verloren hatten. Diese Entfernung, die wahre Tiefe des Gesichtsfeldes, wurde an einer Kreiseintheilung abgelesen, die an der Schraube zur feinen Einstellung angebracht war. Um die scheinbare Tiefe zu bekommen, wurde die gefundene Grösse der wahren Vertiefung mit der Vergrösserungsziffer multiplicirt.

Aus der kleinen Tabelle ist ersichtlich, dass die auf solchem Wege gefundene scheinbare Tiefe bei den stärkeren Vergrösserungen ansehnlicher ausfällt, als bei den schwächeren. Der Grund ist wohl hauptsächlich darin zu suchen, dass zu allen Bestimmungen das nämliche kleine Object diente, dessen Form natürlich bei stärkeren Vergrösserungen leichter zu erkennen ist, als bei schwächeren. Jedenfalls darf man daraus schliessen, dass die stärkeren Vergrösserungen der stereoskopischen Wahrnehmung verhältnissmässig kleinerer Körper nicht gerade nachtheilig sind. Im Allgemeinen ersieht man aber, dass die Tiefe des Gesichtsfeldes im Mikroskope allerdings gering ist; aus den Zahlen der letzten Columne ergiebt sich, dass sie einer Tiefe von höchstens 18 bis 19mm im Gesichtsfelde des blossen Auges gleichkommt, wenn dasselbe nach Objecten in einer Entfernung von 25 Centimeter sieht, oder mit anderen Worten, dass ein Auge, welches für diese Entfernung accommodirt ist, nur jene Gegenstände wird wahrnehmen können, die höchstens 18 bis 19mm dick sind, während ihm alle ausserhalb jenes bestimmten Raumes befindlichen Objecte gar nicht oder nur als nebelartige Massen erscheinen.

Diese Vergleichung ist schon ausreichend, um darzuthun, dass wir vom Gebrauche des binoculären Mikroskops als stereoskopisches Werkzeug keine zu grossen Erwartungen hegen dürfen.

Endlich dürfen wir noch einen Umstand nicht ganz unerwähnt lassen. Riddell fand beim Gebrauche seines katoptrischen binoculären Mikroskops, dass concave Theile eines Objectes sich manchmal convex darstellten, convexe dagegen ausgehöhlt. Wenham beobachtete das Nämliche bei seinem dioptrischen binoculären Mikroskope. Es scheint demnach diese pseudoskopische Erscheinung mit der Einrichtung des Instruments in keinem Zusammenhange zu stehen*), vielmehr zur Klasse der optischen Täuschungen zu gehören, deren Quelle in dem die Wahrnehmungen aufnehmenden und combinirenden Verstande zu suchen ist. Die Hauptveranlassung zu dieser falschen Verstandesoperation mag wohl darin liegen, dass es jenen Theilen des Objectes, welche sich etwas zu weit ausserhalb des Focus befinden, durchaus an Schärfe fehlt. Verhält sich die Sache so, dann wird dieser pseudoskopische Irrthum bei dicken Objecten am stärksten hervortreten und bei dünneren weniger zu befürchten stehen.

Siebentes Kapitel.

Mittel zur Umkehrung der Bilder; das pankratische Mikroskop.

Die Umkehrung, welche alle Bilder im zusammengesetzten Mikro- 195
skope erfahren, hat auf die Richtigkeit der Beobachtung allerdings gar keinen Einfluss; gleichwohl ist dieselbe sehr störend in jenen Fällen, wo man genöthigt ist, die Objecte unter dem Mikroskope zu präpariren.

Durch viele Uebung lässt sich dieser störende Einfluss wohl zu einem grossen Theile beseitigen, doch muss ich daran zweifeln, dass jemals Jemand bei dieser Umkehrung der Bilder unter dem zusammengesetzten Mikroskope gleich gut arbeiten lernt, wie unter dem einfachen Mikroskope und der Lupe. Wer nicht tagtäglich die einmal mit grosser Mühe erworbene Fertigkeit unterhält, wird immer finden, dass die Bewegungen der Hände und Finger nur dann mit der grössten Festigkeit, Sicherheit

*) Nachet schreibt mir zwar, dass diese pseudoskopische Erscheinung bei seinem binoculären Mikroskope nicht vorkommt und schreibt dies dessen eigenthümlicher Einrichtung zu, wobei die Strahlen von rechts nach links und umgekehrt geworfen werden. Doch vermag ich darin durchaus keinen Grund für diese verschiedenartige Wirkungsweise zu finden.

und Feinheit ausgeführt werden, wenn sie in jener Richtung erfolgen, woran wir durch Vergleichung zwischen den Gesichtseindrücken und den Gefühlseindrücken von Kindheit an gewöhnt sind.

Eine Verbesserung dieser Unvollkommenheit des zusammengesetzten Mikroskops ist daher nicht ohne Bedeutung; eine solche ist aber ohne Opfer nicht herbeizuführen. Mit der gewöhnlichen Anzahl von Gläsern ist diese Wiederumkehrung der Bilder nicht zu erreichen, sondern es müssen zu diesem Zwecke immer mehr Oberflächen von Gläsern in die Bahn der Strahlen kommen. Da nun aber mit jeder neuen Glasoberfläche ein Verlust an Lichtstärke gepaart geht, so folgt von selbst, dass man durch ein solches bildumkehrendes Mikroskop den Gegenstand niemals so scharf wahrnimmt, wie durch ein anderes, worin sich die Bilder in verkehrter Richtung darstellen. Daher die Regel, dass man in den Fällen, wo es auf Genauigkeit und Schärfe der Beobachtung ankommt, niemals von den verschiedenen Mitteln zur Wiederumkehrung des Bildes Gebrauch macht. Gehören sie nun aber auch nicht zu den ständigen Theilen der optischen Einrichtung, so sind sie doch als temporäre Bestandtheile, die man nach Willkür gebrauchen und wieder wegthun kann, von grossem Nutzen.

196 Es giebt zwei Methoden, wie man eine Wiederumkehrung der Bilder herbeiführen kann: die eine beruht auf katoptrischen Principien, die andere auf dioptrischen, und für beide giebt es verschiedene Modificationen, namentlich aber für die zweite.

Wir haben bereits gesehen (§. 177), dass ein rechtwinkeliges Prisma (Fig. 70 u. 71), oder auch ein solches, wie das in Fig. 72 dargestellte, wenn es in die Bahn der Lichtstrahlen kommt, eine halbe Umkehrung der Bilder bewirkt, ganz so, als wenn wir in einen gewöhnlichen Spiegel sehen, wo alles, was zur Linken ist, rechts erscheint und umgekehrt, während dagegen Oben und Unten unverändert bleiben. Um das Bild umzukehren und beim zusammengesetzten Mikroskope also wiederum in die ursprüngliche Lage zu bringen, brauchte man nur eine zweite Reflexion eintreten zu lassen und zwar auf einer Fläche, welche rechtwinkelig auf der ersten Reflexionsfläche steht. Man würde also ein zweites rechtwinkeliges Prisma mit einer dem rechten Winkel angehörigen Fläche dergestalt über das Ocular bringen können, dass die Hypothenusenfläche rechtwinkelig auf jener des ersten Prisma steht. Finge man dann von der Seite her die Strahlen auf, welche durch die zweite dem rechten Winkel angehörige Fläche nach aussen treten, so würde man ein vollständig umgekehrtes, also zur normalen Lage umgekehrtes Bild sehen.

Die Stellung freilich, dass man in horizontaler Richtung von der Seite her in ein Mikroskop sieht, würde sehr lästig sein, wenigstens gar nicht geeignet, das Präpariren auf dem Objecttische zu erleichtern. Man kann aber dieses nämliche rechtwinkelige Prisma auch noch auf eine andere Weise benutzen, die dem vorgesteckten Zwecke besser entspricht.

Wird es nämlich so gestellt, wie *A* in Fig. 97, dass die Hypothenusenfläche *uv* mit der optischen Axe des Mikroskops parallel ist, dann werden die Strahlen *a*, *b*, *c*, *d* beim Eintritte in dasselbe gebrochen und hierauf bei *d'*, *c'*, *b'*, *a'* an der Hypothenusenfläche reflectirt werden, so dass sie nach *a''*, *b''*, *c''*, *d''* gehen. In dieser Stellung kann nun ein solches Prisma in dem Rohre des Mikroskops oder vor dem Ocular angebracht werden, und wenn in diesem Mikroskope schon ein reflectirendes Prisma vorhanden ist, dann kann der Beobachter in der nämlichen Richtung wie früher sehen, d. h. horizontal, wenn das Prisma ein rechtwinkeliges ist, oder unter einem bestimmten Winkel, etwa von 45°, wenn die Reflexion, wie in Fig. 72, unter einem solchen Winkel stattfindet. Es können auch zwei rechtwinkelige Prismen in der Stellung wie *A* und *B* in Fig. 97 dicht über einander im Rohre eines verticalen Mikroskops oder vor dem Oculare angebracht werden, so dass bei der Umkehrung des Bildes auch die verticale Stellung unverändert bleibt.

Fig. 97.



Auf diese Art ist es also möglich, nicht nur das Bild wiederum in die Richtung zu bringen, welche das Object ursprünglich hatte, sondern zugleich auch die Vortheile zu sichern, welche die verticale oder nur wenig davon abweichende Stellung des Mikroskops für das Präpariren auf dem Objecttische darbietet. Auch bleibt die Verbesserung der Aberrationen die nämliche, weil keine grössere Anzahl convexer Glasoberflächen in Anwendung kommt. Nur haben dergleichen Prismen die nämliche nachtheilige Wirkung auf den Gang der Strahlen, wie die Benutzung sehr dicker Deckgläser haben würde.

Benutzt man übrigens als oberes Prisma ein solches, wie das in Fig. 72 abgebildete, dann kann man den Strahlen auch einen Winkel verschaffen, der für die Haltung des Kopfes vortheilhafter ist.

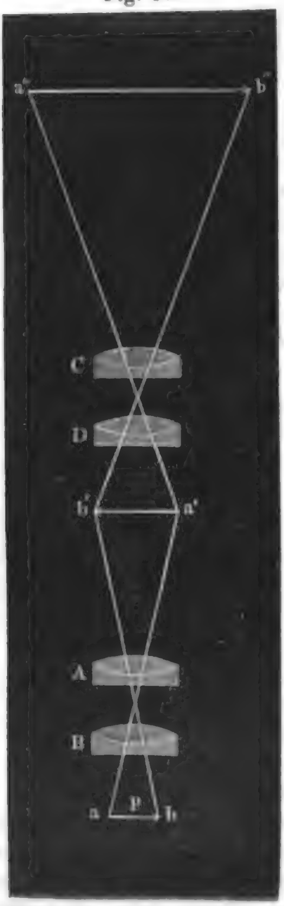
Wir kommen jetzt auf die dioptrischen Methoden. Sind sie auch 197
dem eigentlichen Wesen nach nicht verschieden, da bei allen das Ziel dahin geht, durch Einschieben einer Linse oder mehrerer Linsen eine Umkehrung des Bildes zu Stande zu bringen, so wollen wir doch der Deutlichkeit halber zwei Hauptklassen unterscheiden, je nachdem die Umkehrung schon nahe dem Objectiv oder aber erst im Ocular bewirktwerden soll.

Bei jeder Entfernung, wenn sie nur grösser ist als die Brennweite, kann man hinter einer Linse das Bild eines davor stehenden Objectes entstehen lassen. Das Nämliche gilt daher auch vom Objectiv eines zusammengesetzten Mikroskops. Bringt man das Object nicht ganz nahe

dem Brennpunkte des Objectivs, wie es geschehen muss, wenn sein Bild vor das Ocular fallen soll (§. 146), entfernt man dasselbe vielmehr weiter und weiter vom Objectiv, so rückt das Bild der gegenüber liegenden Fläche immer näher und zugleich wird es allmälig kleiner, bis beide gleich weit vom optischen Mittelpunkte entfernt sind, nämlich um die doppelte Brennweite des Objectivs, wo dann das Luftbild und das Object gleiche Grösse haben; wird aber das Object noch entfernter gerückt, dann wird das davon kommende Bild kleiner. Betrachtet man nun das umgekehrte Luftbild, gleich als wäre es ein Object, durch ein zusammengesetztes Mikroskop, dann wird das scheinbare Bild in der ursprünglichen Richtung des Objects erscheinen.

Auf dieses Princip stützt sich die Einrichtung des Mikroskops, welches den Namen des pankratischen (*παν*, alles, und *κρατειν*, mächtig sein) erhalten hat, weil man durch blosse Stellverrückung des Luftbildes die Vergrösserung in ziemlich weiten Grenzen vermehren und vermindern kann. Zur Verdeutlichung mag Fig. 98 dienen. *A* und *B* ist ein gewöhnliches Doublettensystem aus aplanatischen Linsen, dem man natürlich den Vorzug vor einer einzelnen Linse giebt, weil es hier von hoher Wichtigkeit ist, dass das Luftbild in allen seinen Theilen möglichst vollkommen einem wahren Objecte gleiche. Die Ueberverbesserung dieses Systems braucht deshalb auch nur unbedeutend zu sein. Das Object *ab*, wenn es in gehöriger Entfernung vom Brennpunkte *p* befindlich ist, wird alsdann in *b' a'* ein umgekehrtes Bild erzeugen. Fällt nun dieses Bild vor ein zweites Objectivsystem *C* und *D*, so wird ein neues Bild *a'' b''* entstehen, welches die ursprüngliche Stellung des Objects hat. Fängt man dann dieses Bild auf einem Schirme auf, so hat man ein bildumkehrendes Bildmikroskop, oder betrachtet man dasselbe durch ein gewöhnliches Ocular, so hat man ein bildumkehrendes zusammengesetztes Mikroskop.

Fig. 98.



Ist das System *CD* das Objectiv eines zusammengesetzten Mikroskops, so muss natürlich für das nämliche Auge die Entfernung des Bildes *b'a'* von der Unterfläche der Doppellinse *D* unverändert bleiben. Damit nun die Vergrösserung verändert werden könne, muss jedes der beiden Systeme *AB*

und CD in ein besonderes Rohr gefasst sein, die über einander gleiten. Wird der Abstand beider Systeme von einander vergrössert, so wird auch das Bild $b'a'$ an Grösse zunehmen, umgekehrt dagegen abnehmen, wenn man die beiden Systeme einander nähert; fallen endlich die Brennpunkte beider zusammen, so dass sich kein Bild mehr dazwischen formt, dann ist die Vergrösserung natürlich Null. Die Entfernungen der Brennpunkte beider Systeme bestimmen also einerseits die Grenze der Bewegungsausdehnung, die andere Grenze aber wird ebensowohl durch die Unbequemlichkeit bestimmt, welche mit einer zu grossen Länge des Instruments verbunden ist, als dadurch, dass die Bilder bei zunehmender Vergrösserung an Schärfe verlieren.

Um das Angeführte durch ein Beispiel zu erläutern, nehmen wir an, das zusammengesetzte Mikroskop, bei welchem das System CD die Stelle des Objectivs vertritt, soll für sich allein gebraucht den Durchmesser eines Objects 25 Mal vergrössern. Wir nehmen ferner an, die Brennweite des vorderen Systems betrage 10^{mm} und beide über einander gleitende Rohre haben eine Bewegungsextension von 35^{mm}, so dass das Bild bei stärkster Annäherung beider Systeme 15^{mm} und bei stärkster Entfernung beider von einander 50^{mm} hinter den optischen Mittelpunkt des Systems AB fällt. Für den ersten Fall wird dann das Bild (§. 131) $\frac{15-10}{10} = 0{,}5$ so gross als das Object sein, und die gesammte Vergrösserung ist $= 25 \,.\, 0{,}5$ oder 12,5. Die Entfernung vom Objecte aber ist $= \frac{10 \,.\, 15}{15-10} = 30^{mm}$. Im anderen Falle wird das Bild $\frac{50-10}{10} = 4$ Mal grösser sein als das Object, und die Gesammtvergrösserung ist dann $25 \,.\, 4 = 100$, das Object aber ist $\frac{10 \,.\, 50}{50-10}$, d. h. $12{,}5^{mm}$ vom optischen Mittelpunkte des vorderen Systems entfernt. Zwischen 12,5 und 100, als den beiden Extremen, liegen dann die übrigen Vergrösserungen.

Es ist klar, dass jedes gewöhnliche zusammengesetzte Mikroskop temporär in ein pankratisches umgewandelt werden kann, wenn man statt eines gewöhnlichen Objectivsystems ein pankratisches System anwendet. Um ein grosses Gesichtsfeld zu bekommen, wodurch das Arbeiten auf dem Objecttische bequemer wird, verdient in einem solchen Falle ein Ramsden'sches Ocular den Vorzug vor einem Huygens'schen.

Ein solches pankratisches Objectiv müsste daher als eine sehr wünschenswerthe Zugabe bei jedem zusammengesetzten Mikroskope erscheinen, gäbe es nicht noch eine andere Methode, welche dem Hauptzwecke, der Umkehrung der Bilder nämlich, wenigstens eben so gut entspricht und noch den Vortheil hat, dass die Einrichtung weniger kostspielig ist, weil dazu gar keine achromatischen Doppellinsen erforderlich sind. Man kann nämlich die Umkehrung in das Ocular versetzen, gleichwie man es 198

beim Teleskope zu thun pflegt, wenn dieses zur Beobachtung irdischer Objecte eingerichtet wird.

Das Ocular kann hierzu auf mehr denn eine Weise benutzt werden. Am einfachsten ist die Einrichtung, welche Fig. 99 dargestellt ist. Die Linse *A* ist ein gewöhnliches Collectivglas, welches wie in jedem anderen Falle (Fig. 65 *EF*) die Strahlen, welche vom Objectiv kommen, zu einem verkehrten Bilde *ba* vereinigt. Befindet sich nun das Object in

Fig. 99.



Fig. 100.



der erforderlichen Entfernung vom Objectiv, so wird dieses Bild in eine solche Entfernung von der zweiten Linse *B* kommen, dass in nicht zu weiter Entfernung dahinter in *a' b'* ein zweites, jetzt aber umgekehrtes Bild entsteht, welches durch das Ocular *C* vergrössert angeschaut werden kann. Ein solches bildumkehrendes Ocular, wie es Fig. 99 darge-

stellt ist, kann man sich demnach so denken, als bestände es aus einem gewöhnlichen Huygens'schen Ocular *A* und *B* nebst einem Augenglase *C*. Dabei sind aber noch verschiedene Modificationen möglich. Statt das umgekehrte Bild durch das letztere Glas allein zu betrachten, kann man es durch ein Huygens'sches Ocular betrachten, oder wegen des grösseren Feldes noch lieber durch ein Ramsden'sches Ocular *), wie es Fig. 100 dargestellt ist, wo *a' b'* das umgekehrte Bild darstellt, welches sich vor der vorderen Linse eines Oculars dieser letzteren Art befindet. Hieraus ergiebt sich denn auch, dass jeder, der bei seinem Mikroskope zwei Oculare besitzt, sein Instrument in ein bildumkehrendes verwandeln kann, wenn er mit Hülfe eines vereinigenden Rohrs das eine Ocular in eine gewisse Entfernung oberhalb des anderen bringt. Allerdings werden sich alsdann die Bilder nicht in der Schärfe und so frei von Aberration darstellen, wie beim Betrachten durch Ein Ocular **); das ist aber auch weniger nöthig bei dem praktischen Zwecke, den man vor Augen hat, die Objecte nämlich zum Behufe einer näheren genauen Untersuchung zu präpariren. Das pankratische Princip kann übrigens hier auch in Anwendung kommen: wenn man in Fig. 99 die Linse *C*, in Fig. 100 das zweite Ocular *CD* von der Linse *B* entfernt, dann nimmt die Vergrösserung zu, und sie nimmt dagegen ab, wenn man die Linsen einander nähert. Verbindet man jedoch gewöhnliche Oculare unter einander, dann wird der Unterschied bei einem gleichen Maasse der Verlängerung nicht so bedeutend sein, als wenn ein pankratisches Objectiv genommen wird, weil die Brennweite der nichtverbesserten Linsen der ersteren länger sein müssen.

Einen Punkt wird man aber dem entgegensetzen können, dass die Umkehrung des Bildes zwischen die Gläser des Oculars verlegt werde, das ist nämlich die grössere Länge, welche das Mikroskop dadurch bekommt. Gewiss würden manche, die es versuchen wollten, nach der eben gegebenen Anweisung ein zweites Ocular in einiger Entfernung oberhalb des ersten anzubringen, die Erfahrung machen, dass ihr Instrument dadurch zu lang wird und sie Mühe haben werden, gehörig dadurch zu beobachten und gleichzeitig mit den Händen auf dem Objecttische zu arbeiten. Diese Unannehmlichkeit ist aber nicht sowohl in dem Princípe des bildumkehrenden Mikroskops begründet, als in der ungewöhn-

*) Wahrscheinlich wird ein Herschel'sches aplanatisches Doublet dem Zwecke hier noch besser entsprechen.

**) Nach der Theorie muss die Aberrationsgrösse im quadratischen Verhältniss der in einem Ocular benutzten Gläserzahl abnehmen, wenn diese in den gehörigen Abständen von einander sind, so dass also die Aberration eines aus vier Gläsern bestehenden Oculars viermal schwächer sein müsste, als wenn das Ocular nur aus zwei Gläsern besteht. Das ist aber einer von jenen Fällen, wo die Erfahrung mit der Theorie in Widerspruch ist oder deren Postulate nicht ganz erfüllen kann, da, wenn zur Zusammensetzung eines Oculars mehr als zwei Linsen verwendet werden, jede der Zweizahl hinzugefügte Linse nicht allein die Lichtstärke vermindert, sondern auch die Nettigkeit des Bildes beeinträchtigt.

lichen Höhe, bis zu welcher viele Optiker ohne Noth ihre Instrumente ausführen.

Bei solcher Veranlassung lernt man auch den Vortheil kennen, den es hat, wenn man das Rohr des Mikroskops verkürzen kann (§. 165). Folgendes Beispiel zeigt, dass man alsdann mit gewöhnlichen Ocularen recht gut ein bildumkehrendes Mikroskop von nur mässiger Länge bekommen kann. Von einem Amici'schen Mikroskope, das ich täglich gebrauche, kann die Hälfte des Rohrs weggenommen werden. Geschieht dies, und wird ausser einem Huygens'schen Ocular noch ein solches von Ramsden mit einem Verlängerungsrohre aufgesetzt, wodurch das Mikroskop ein bildumkehrendes wird, so hat das ganze Instrument bis zum Tische 32 Centimeter Höhe und man kann noch bequem im Sitzen daran arbeiten. Auch unterliegt es keinem Zweifel, dass sich, wenn bei entsprechender Verkürzung des Rohrs stärkere Linsen ins Ocular genommen werden, bildumkehrende Mikroskope darstellen lassen, die noch weit kürzer sind.

Im Ganzen genommen scheint mir das letztere Verfahren *) vor dem ersteren den Vorzug zu verdienen, weil es einfacher, weniger kostspielig und doch gleich entsprechend ist. Das pankratische Objectiv giebt allerdings wohl einen grösseren Spielraum für die Vergrösserung; dieser Vortheil kommt indessen nur wenig in Betracht, da man zu den geringsten Vergrösserungen, bei denen man präparirt, doch immer lieber eine Lupe gebrauchen wird, und da bei den stärkeren Vergrösserungen, z. B. über 50 Mal, die Bewegung unserer Hände nicht mehr fest und sicher genug ist, um dieselben mit Erfolg gebrauchen zu können. Deshalb erachte ich es wünschenswerth, wenn die Optiker häufiger, als es bis jetzt geschah, ihren Mikroskopen ein bildumkehrendes Ocular beifügten, das, wie wir oben sahen, dergestalt könnte eingerichtet werden, dass es aus zwei Ocularen besteht, die sich auch einzeln für sich anwenden lassen. Eine solche Zugabe kann den Preis eines Mikroskops beinahe nicht erhöhen, und sie würde viel zweckmässiger sein, als die Anfertigung sogenannter Dissectionsmikroskope, welche nach den oben entwickelten Principien eingerichtet sind, und die, wenn sie auch dem eigentlichen Zwecke, wozu sie bestimmt sind, vollkommen entsprechen, den Besitzer nöthigen, sich ausserdem noch ein anderes Mikroskop zur genaueren Untersuchung anzuschaffen.

Man vergesse nie, dass bei einer Wissenschaft, welche materielle Hülfsmittel zur Betreibung erfordert, nichts besser dazu beiträgt die An-

*) Ich muss noch bemerken, dass bei katadioptrischen Mikroskopen die Umkehrung des Bildes auf dioptrische Weise lediglich durchs Ocular erreicht werden kann: man braucht nur durch das katoptrische Objectiv ein Bild sich formen zu lassen und dieses dann durch ein gewöhnliches dioptrisches zusammengesetztes Mikroskop zu betrachten. Man würde so ein katadioptrisches pankratisches Objectiv bekommen.

zahl ihrer Jünger zu vermehren, als wenn man die materiellen Hülfsmittel nicht blos möglichst gut, sondern auch möglichst wohlfeil herstellt.

Nicht ganz leicht ist die Frage zu beantworten, ob man künftighin 199
das einfache Mikroskop ganz wird entbehren können, da jetzt das zusammengesetzte Mikroskop nicht blos wegen der grösseren Schärfe und wegen anderer Tugenden als Instrument zum Beobachten den Vorzug verdient, sondern es auch gelungen ist, dasselbe von dem einzigen daran haftenden Gebrechen, der Umkehrung des Bildes nämlich, zu befreien. Wahrscheinlich werden viele, die ein bildumkehrendes zusammengesetztes Mikroskop besitzen und mit dessen Gebrauch vertraut sind, die Frage mit Ja beantworten, und man muss gestehen, dass das einfache Mikroskop wirklich dadurch in vielen Fällen entbehrlich gemacht wird, indem das grössere Gesichtsfeld und die grössere Entfernung der Objective vom Objecte nicht zu verkennende Vortheile sind. Andere dagegen werden mit Mohl (Mikrographie S. 227) dem einfachen Mikroskope immer den Vorzug geben, weil dabei der Kopf vorn über gebeugt wird und das Auge während des Arbeitens dicht über den Händen bleibt. Viel kommt natürlich hierbei auf die Gewohnheit an.

Mehr dürfte ins Gewicht fallen die geringere optische Vollkommenheit des bildumkehrenden Mikroskops im Vergleich zu dem einfachen, zumal wenn dieses mit Doublets versehen ist. In der That will es mir nicht wahrscheinlich vorkommen, dass jenes in dieser Beziehung jemals mit letzterem werde in die Schranken treten können, einmal wegen der grossen Menge reflectirender Oberflächen, dann aber auch deshalb, weil eine vollkommene Verbesserung der Aberrationen wegen der grösseren Zusammensetzung hier schwerer zu erreichen scheint, als beim gewöhnlichen zusammengesetzten Mikroskope, zumal wenn das pankratische Princip in Anwendung gebracht wird, da mit jeder Veränderung im wechselseitigen Abstande der Linsen auch eine Veränderung im Grade der Aberrationsverbesserung gepaart geht (§. 160). Freilich muss man zugeben, dass bei den schwachen Vergrösserungen, wobei doch die Bildumkehrung allein passend erscheint, dieser Einfluss nicht sehr merkbar ist, und dass überdem, wenn man sich mit einem kleineren Spielraume im Wechsel der Vergrösserung begnügt, es nicht schwer fällt, den bildumkehrenden Apparat so einzurichten, dass die Bilder eine ausreichende Schärfe haben für den Zweck, wofür die ganze Einrichtung bestimmt ist.

Indessen bleibt dem einfachen Mikroskope in Einer Beziehung stets der Vorzug gesichert: es nimmt nur wenig Raum ein und ist auf Reisen sowie bei wissenschaftlichen Excursionen ein bequem tragbares Instrument. Deshalb wird es für jenen, der seine Thätigkeit nicht auf das enge Studirzimmer einschränkt, vielmehr die Natur mitten in der Natur selbst studiren will, stets unentbehrlich bleiben.

Achtes Kapitel.

Beleuchtung der mikroskopischen Objecte.

200 Bei den meisten mikroskopischen Beobachtungen ist die Anwendung eines Apparates zur Beleuchtung der Objecte erforderlich, einestheils, damit man dieselben unter Beibehaltung der horizontalen Lage des Objecttisches auf einem helleren Hintergrunde sehen könne, anderntheils deshalb, damit man bei der Untersuchung durchsichtiger wie undurchsichtiger Körper das durchfallende oder auffallende Licht je nach den Umständen modificirt einwirken lassen könne.

Der Beleuchtungsapparat ist deshalb stets ein sehr wichtiger Theil jedes Mikroskops. Man darf zwar nicht erwarten, durch eine gute Beleuchtung ein schlechtes Mikroskop jemals in ein gutes umwandeln zu können; aber die Wirkung eines Mikroskops, dessen übrige optische Einrichtung auch noch so vollkommen ist, wird stets mehr oder weniger unvollkommen bleiben, wenn dabei die Hülfsmittel fehlen, die Beleuchtung der Objecte auf die ihrer besonderen Eigenthümlichkeit am meisten entsprechende Weise zu bewirken.

Dass durchsichtige und undurchsichtige Objecte ihre besondere Beleuchtung verlangen, versteht sich von selbst; jeder mikroskopische Beobachter wird aber auch ausserdem finden, dass die Art der Objecte noch in anderer Beziehung auf den Beleuchtungsmodus bestimmend einwirkt, dass manche Objecte ein starkes, andere wieder ein schwaches Licht verlangen, dass zur vollkommensten Darstellung hier paralleles, dort divergirendes oder convergirendes Licht, und bei noch anderen Objecten schief einfallendes Licht erforderlich ist. Hieraus ersieht man schon, dass der Beleuchtungsapparat mehrfachen Zwecken entsprechen muss, und dass auf seiner zweckmässigen Einrichtung die Brauchbarkeit eines Mikroskops wesentlich mit beruht.

Vergleicht man die Mikroskope aus verschiedenen Werkstätten unter einander, so wird man finden, dass in der Einrichtung und Verfertigung der Oculare und Objective eine ziemliche Uebereinstimmung sich kund giebt, dass aber in Betreff der Beleuchtungsapparate sich noch viele Verschiedenheiten zeigen. Diese Verschiedenheit kann nur dem Umstande zugeschrieben werden, dass das Grundprincip, welches jeden einzelnen Optikus bestimmt, an sich selbst und für einzelne Fälle vollkommen richtig sein kann, aber meistens zu einseitig und zu ausschliesslich angewendet wird, mit Vernachlässigung anderer Grundprincipien, die auf andere Fälle gleich gut passen. Die Beweise dafür wird man im dritten Buche finden, wo die Apparate genauer beschrieben werden; hier beschränke ich mich darauf, die Regeln aufzustellen, die für eine gute Beleuchtung

der mikroskopischen Objecte im Auge behalten werden müssen, und zwar von einem allgemeinen Standpunkte ausgehend, dessen Richtigkeit durch die Theorie wie durch die Erfahrung bestätigt wird.

Zuerst und vorzugsweise betrachten wir die Beleuchtung bei durchfallendem Lichte, weil diese bei mikroskopischen Untersuchungen am meisten in Anwendung kommt. Sie erfordert auch aus dem Grunde noch eine ausführlichere Berücksichtigung, weil beim gewöhnlichen nicht mikroskopischen Sehen das Auge weniger an diese Beleuchtungsart gewöhnt ist, da man bei weitem die meisten Gegenstände von oben beleuchtet wahrnimmt. 201

Wenn das alleinige Mittel, um Gegenstände auch mit blossem Auge zu sehen, darin bestände, dass man dieselben auf einen erleuchteten Hintergrund bringt, wobei die Netzhaut Schattenbildchen von denselben erhält, so müssten nach der Natur der Sache bei der Beleuchtung der Objecte, mögen sie mit blossem Auge oder mittelst des Mikroskops betrachtet werden, die nämlichen Bedingungen erfüllt werden.

Was früher (§. 97) über das Sehen mit blossem Auge bei durchfallendem Lichte gesagt wurde, kann daher ohne Weiteres auf das mikroskopische Sehen bei der nämlichen Beleuchtungsart übertragen werden. Ein Unterschied besteht aber dabei, der nicht unerwähnt bleiben darf. Beim einfachen und beim mikroskopischen Sehen wird man im Allgemeinen ein Object in Vollständigkeit dann am besten wahrnehmen, wenn die Lichtstrahlen gleichmässig auf alle Punkte der Fläche auffallen, worin sich das Object befindet; sollen aber Einzelnheiten daran wahrgenommen werden, so ist es oftmals vortheilhaft, wenn man das Licht in solcher Richtung auffallen lässt, dass ein Theil anders als ein anderer Theil davon getroffen wird. Beim gewöhnlichen Sehen kehren wir deshalb den Gegenstand in solcher Richtung dem Lichte entgegen, wobei die Einzelnheiten am deutlichsten wahrnehmbar werden. Es handle sich z. B. um eine Glasplatte, in der sich wegen unvollkommener Mengung sogenannte Streifen befinden. Bei einer bestimmten Stellung der Platte werden diese vielleicht nicht wahrzunehmen sein, weil die dadurch bewirkte Abweichung der Strahlen alsdann zu gering ist, als dass ein Schattenbild auf der Netzhaut entstehen könnte; hält man aber die nämliche Glasplatte in etwas veränderter Stellung dem Lichte entgegen, dann zeigen sich die Streifen deutlich, weil die Abweichung der Lichtstrahlen, eine Folge des verschiedenen Brechungsvermögens in den verschiedenen an einander grenzenden Schichten, jetzt gross genug ist, um einen Eindruck auf die Netzhaut zu machen. Haben wir ein derartiges wenn auch kleineres Glasplättchen unterm Mikroskope, oder betrachten wir, was das Nämliche ist, zwei sich nicht vollständig mischende Flüssigkeiten von verschiedenem Brechungsvermögen, etwa Schwefelsäure und Wasser, dann kann es wohl geschehen, dass von den hier wirklich vorhandenen Streifen bei einer gewissen Richtung des durchfallenden Lichtes nichts wahrzunehmen ist.

Bei der Einrichtung des Mikroskops lässt sich nun die Stellung der Objecte nicht in gleicher Weise verändern, als es beim Sehen mit blossem Auge möglich ist, und deshalb muss hier die Sache umgekehrt werden, d. h. durch den Beleuchtungsapparat muss hier dem Lichte die günstigste Richtung behufs der Wahrnehmung des Objectes verschafft werden. Lässt man auf die soeben als Beispiel angeführte Glasplatte oder auf die zwei gemengten Flüssigkeiten das Licht in schiefer Richtung auffallen, dann können die Zeichen der unvollständigen Mengung zum Vorschein kommen.

Derartiges nehmen wir in zahlreichen anderen Fällen wahr. Ein dünner Körper, z. B. ein Streifen Papier, dessen schmale Kante dem Auge zugekehrt ist, wird leichter wahrnehmbar, sobald er dem Lichte gegenüber ist und einen Schlagschatten wirft. So ist es auch nur bei schief einfallendem Lichte möglich, einzelne schwer wahrzunehmende Einzelnheiten durchsichtiger mikroskopischer Objecte, z. B. die Querstreifchen auf den Schüppchen mancher Schmetterlinge, die Streifen und Punkte auf den Schalen vieler Diatomeen u. s. w. zu unterscheiden. Denn sind diese Streifen und Punkte durch Verdickungen und Vertiefungen erzeugt, so wird, wie man aus Fig. 101 leicht entnimmt, ein Theil jener in schiefer Richtung auf ihre Seiten fallenden Strahlen vom Wege abgelenkt werden und folglich nicht ins Mikroskop eintreten.

Fig. 101.



Bei ganz undurchsichtigen Gegenständen ist es nur das Auffangen der Lichtstrahlen, wodurch ein Object sichtbar wird. Hier kann demnach die verhältnissmässig verschiedene Richtung der zur Beleuchtung dienenden Strahlen nur einen geringen Einfluss üben. Die meisten Körper indessen, welche unter dem Mikroskope bei durchfallendem Lichte untersucht werden, sind mehr oder weniger vollkommen durchscheinend, und nur weil sie auf die einfallenden Lichtstrahlen dioptrisch und katoptrisch einwirken, geschieht es, dass ein Theil dieser Strahlen nicht zum Auge gelangt, so dass dann die Körper sichtbar werden. Nun ist es klar, dass es nicht einerlei sein kann, ob parallele, divergirende oder convergirende Strahlen auf solche Körper treffen, nicht minder aber auch, dass man keiner dieser drei Richtungen einen entschiedenen Vorzug geben darf, da es durchaus von der Form der Oberflächen bedingt ist, ob die Objecte bei einer dieser Richtungen am deutlichsten hervortreten. Ein ganz dünnes Krystallplättchen z. B., dessen platte Oberfläche dem Auge des Beobachters zugekehrt ist, wird nicht mehr sichtbar sein, wenn es (Fig. 102) durch parallele und senkrecht von unten her auffallende Strahlen getroffen wird. Dasselbe wird aber noch wahrgenommen werden

können, wenn divergirende Strahlen (Fig. 103.) auf seine Oberfläche treffen, weil dann die schief auffallenden Strahlen stärker gebrochen oder reflec-

Fig. 102.



Fig. 103.



tirt werden, die Lichtmenge, welche das Auge nicht erreicht, ansehnlicher ist und deshalb die Ränder sichtbar werden *).

Sodann haben wir weiter oben (§. 96) gesehen, dass ein Gegenstand 202
am besten gesehen wird, wenn der Gegensatz zwischen dem Eindrucke seines Netzhautbildchens und dem Eindrucke des Lichtbildes auf die umgebende Netzhaut am grössten ist, nicht minder aber auch (§. 80), dass das blosse Auge die Gegenstände bei durchfallendem Lichte keineswegs am besten sieht, sobald das Licht sehr stark ist, eher vielmehr alsdann besser, wenn das Gesichtsfeld nur schwach erleuchtet ist. Der Grund davon ist dort angegeben worden. Beim Beobachten mit gewaffnetem Auge nimmt man ganz das Nämliche wahr: sobald sehr kleine oder sehr durchsichtige Objecte in einem zu stark erhellten Gesichtsfelde sich befinden, werden sie ganz oder theilweise unsichtbar in Folge der Irradiation auf der Netzhaut. Jedes Object verlangt deshalb eine für

*) Aus diesem verschiedenartigen Einflusse der Objecte auf den Gang der Lichtstrahlen erklärt es sich auch, warum die Optiker sowohl als die Mikrographen so wenig in Betreff der Frage übereinstimmen, welche Richtung der Strahlen zur Beleuchtung mikroskopischer Gegenstände den Vorzug verdient. Bei der von Wollaston (*Phil. Transactions.* 1829. p. 13) empfohlenen Beleuchtungsweise treffen convergirende noch nicht in einem Brennpunkte vereinigte Strahlen auf das Object. Brewster (*Treatise on the microscope p.* 145) meint, das Object müsse sich gerade im Brennpunkte convergirender Strahlen befinden und derselben Ansicht ist auch Dujardin (*Manuel de l'observateur au microscope* p. 18) zugethan. Dagegen giebt Nobert (Poggendorff's Annalen. 1846. S. 185) der Beleuchtung durch parallele Strahlen den Vorzug, und ebenso Schleiden (Grundzüge der wissenschaftl. Botanik, Bd. I. S. 102). Nach Pritchard endlich (*Micrographia* p. 186) sollen schwierige Probeobjecte nur bei divergirendem Lichte gut gesehen werden können. Schon aus diesem Widerspruche der Meinungen darf man schliessen, dass keine der drei genannten Beleuchtungsweisen einen ausschliesslichen Vorzug verdient; auch wird jeder Beobachter finden, dass, wenn man auch bei parallel auffallendem, wie bei divergirendem oder convergirendem Lichte ziemlich gut sieht, die sehr mühsam wahrnehmbaren Einzelnheiten eines Objectes sich nur bei einer bestimmten relativen Richtung der Strahlen am besten darstellen, dass aber auch diese Richtung nicht durchaus die nämliche für alle Objecte sein darf.

dasselbe passende Intensität der Beleuchtung. Bei manchen ganz undurchsichtigen Objecten kann ein ganz concentrirtes Licht nöthig sein. für die Mehrzahl aber gilt die Regel, dass in dem Maasse, als ein Object oder Theile desselben schwerer erkennbar sind, das Gesichtsfeld weniger beleuchtet sein muss.

203 Gehen wir von den entwickelten Grundsätzen aus, so ist es klar, dass der Beleuchtungsapparat folgende Haupterfordernisse in sich vereinigen muss:

1) Das Licht muss er in allen Richtungen auf das Object fallen lassen, dabei aber muss er eine solche Einrichtung haben, dass seine Axe wiederum mit Sicherheit in die optische Axe des gesammten Instruments gebracht werden kann.

2) Er muss mit den Mitteln ausgestattet sein, um sowohl parallele als divergirende und convergirende Strahlen zur Beleuchtung des Gesichtsfeldes anzuwenden, je nachdem die besonderen Umstände und die Art des Objects dies verlangen.

3) Er muss eine willkürliche Verstärkung und Mässigung des Lichtes zulassen.

Wir haben jetzt zu untersuchen, wie diese drei Hauptbedingungen erfüllt werden können.

204 Der erste und wichtigste Bestandtheil jedes Beleuchtungsapparates ist der Spiegel. An manchen Mikroskopen ist nur ein Hohlspiegel angebracht; bei anderen ist der Spiegel auf der einen Seite concav, auf der anderen eben. Die Vereinigung beider Spiegelarten verdient sicherlich den Vorzug. Bei geringen Vergrösserungen wird man am besten bei parallelem Lichte, das durch einen ebenen Spiegel reflectirt wird, beobachten können, auch ist ein solcher Spiegel nöthig, wenn Hohlspiegel zur Reflexion des auffallenden Lichtes verwendet werden, es müsste denn die Krümmung des Hohlspiegels so gering sein, dass derselbe ein Bündel convergirender Strahlen darauf reflectirt, in welchem Falle aber seine Brennweite wiederum für andere gleich zu besprechende Zwecke zu gross sein würde.

Beide Spiegel können von Glas sein. Allerdings wirkt dann die vordere sowohl als die hintere Fläche reflectirend; da aber hier keine Bilder von Gegenständen reflectirt werden, sondern nur das Bild einer ganzen erleuchteten Fläche, so entsteht durch die zweite Reflexion keine Verwirrung. Ueberdies ist das durch den Metallspiegel reflectirte Licht meistens weniger hell und weiss, und es lohnen sich die höheren Kosten solcher Spiegel durchaus nicht, wie mich die Erfahrung gelehrt hat. Nur zu einem bestimmten Zwecke, auf den ich später noch zurückkomme, wird ein ebener Metallspiegel erfordert, wenn man nämlich das Bild einer entfernten Theilung als Mikrometer im Gesichtsfelde festhalten will. Mit Vortheil kann dann auch ein reflectirendes Prisma statt eines Spiegels benutzt werden. Da indessen ein solches Prisma nicht zugleich mit

einem Hohlspiegel in Verbindung gebracht werden kann, so scheint mir eine solche Vertauschung weniger zweckmässig zu sein.

Die Form des ebenen Spiegels ist gleichgültig; der Hohlspiegel dagegen muss natürlich rund sein. Was die Grösse betrifft, so ist ein zu grosser Durchmesser von etwa 10 bis 15 Centimeter nicht gerade schädlich, aber doch überflüssig, da ja doch immer nur ein kleiner Theil der reflectirten Strahlen wirklich in Anwendung kommt. Mir sind keine Fälle bekannt, wo der Spiegel mehr als 5 Centimeter Durchmesser zu haben brauchte.

Die Verbindungsweise des Spiegels mit dem übrigen Apparate ist durchaus nicht gleichgültig. Es versteht sich von selbst, dass er unter verschiedenen Winkeln muss gestellt werden können, wenn er das auffallende Licht auf das Object reflectiren soll. Wie schon erwähnt, muss er aber das Licht nicht blos senkrecht, sondern in allen Richtungen auf das Object reflectiren, und er muss dann wiederum auf zuverlässige Weise in jene Stellung zurückgebracht werden können, welche man als die normale ansehen darf, wo nämlich der Mittelpunkt des Spiegels in der Axe des ganzen Mikroskops liegt. Bei der letztgenannten Stellung fällt das Licht gleichmässig auf alle Theile der Fläche, in welcher das Object befindlich ist, und das ganze Bild tritt am deutlichsten hervor, weil gleiche Lichtmengen an allen Rändern des Objectes vorbeigehen; eine schief auffallende Beleuchtung braucht man aber blos dann anzuwenden, wenn man das Bild als Ganzes in Augenschein genommen hat und nun zur Untersuchung seiner schwerer wahrnehmbaren Einzelnheiten übergeht.

Damit das Licht in verschiedenen Richtungen auf das Object geleitet werde, ist es übrigens nicht nöthig, dass der Spiegel nach allen Richtungen beweglich ist, was auch schwer mit der Einrichtung zur genauen Centrirung zu vereinigen wäre; zudem ist es auch überflüssig, weil das Object selbst in einer Fläche sich herum bewegen lässt und seine verschiedenen Ränder dem Lichte darbieten kann. Es genügt deshalb vollkommen, wenn der Spiegel eine Seitenbewegung ausführt, so dass die optische Axe des Mikroskops immer in der Drehungsebene verbleibt, in welcher die Bewegung stattfindet.

Der hierzu erforderliche mechanische Apparat gestattet mancherlei Modificationen, deren Aufzählung nicht hierher gehört. Zur Erläuterung des Angeführten will ich daher nur noch andeuten, dass das genannte Ziel am einfachsten erreicht werden kann, wenn man den Bügel, worin der Spiegel um seine Axe sich bewegt, an einen Querarm oder an eine Kurbel befestigt, die sich um das eine Ende dreht, aber so, dass die Bewegung nur nach der einen Seite hin stattfinden kann, und nach der andern Seite alsbald gehemmt wird, so wie der Mittelpunkt des Spiegels sich wiederum in der optischen Axe befindet.

Zu einer guten Beleuchtung ist es nicht erforderlich, dass der Spiegel auf und nieder bewegt werden kann und dass sich somit der Abstand zwischen dem Objecttische und dem Spiegel verändert. Ist der Object-

tisch, wie es wünschenswerth ist (§. 166), unbeweglich, dann ist es zweckmässiger, auch den Spiegel stets in der nämlichen Höhe zu behalten, da der Zweck, der allein durch eine solche Ortsveränderung erreicht werden könnte, nämlich Verstärkung oder Verminderung der Lichtintensität, nicht durch den Spiegel, sondern durch andere Mittel erzielt werden muss.

205 Die zweite Anforderung an einen Beleuchtungsapparat geht dahin, dass die zur Beleuchtung dienenden Strahlen, je nachdem die Umstände und die Art der Objecte es verlangen, parallel, convergirend oder divergirend müssen gemacht werden können. Aus dem, was früher über den Gang der Strahlen durch Linsen mitgetheilt worden ist (§§. 39 bis 45), ergiebt sich, dass man für diesen Zweck die Wahl zwischen verschiedenen Mitteln hat. Am einfachsten und zweckmässigsten ist es, wenn man zwischen den Spiegel und den Objecttisch eine Sammellinse bringt. Am liebsten wird man dazu eine planconvexe Linse von nicht zu grosser Brennweite, etwa von 1 bis 1,5 Centimeter benutzen, die mit der platten Oberfläche nach aufwärts sieht, um die Aberration zu verkleinern. Der Durchmesser dieser Linse braucht nicht zu klein zu sein, da man es immer in der Gewalt hat, ihre Oeffnung durch die alsbald näher zu beschreibenden Mittel nach Willkür zu verkleinern.

Um nun mit Hülfe dieser Linse und des Spiegels den Lichtstrahlen die verschiedenen entsprechenden Richtungen verschaffen zu können, ist noch nöthig, dem Hohlspiegel eine solche Krümmung zu geben, dass sein Brennpunkt mit dem vorderen Brennpunkte der Linse zusammenfallen kann. Durch die folgenden Figuren werden die wichtigeren Stellungen dieses Beleuchtungsapparates erläutert.

In Fig. 104 ist der Spiegel *AB* mit seiner ebenen Fläche nach aufwärts gekehrt. Die parallel auffallenden Strahlen *ab* und *cd* werden nach der Linse *CD* reflectirt und vereinigen sich dann im Brennpunkte *p*. Befindet sich das Object in der Ebene *rv*, so kann es gerade in den Brennpunkt des Beleuchtungsapparates gebracht werden. Befindet es sich dagegen in den Ebenen *r'v'* oder *r''v''*, so treffen im ersteren Falle divergirende, im anderen convergirende Strahlen auf dasselbe. Es ist aber klar, dass man das nämliche Ziel erreicht, wenn man statt des Objectes die Linse verrückt. Man kann ferner aus der Figur entnehmen, dass man durch Höher- oder Tieferstellen der Linse die Stärke des divergirenden und convergirenden Lichtes vermehren und vermindern kann, ohne dass der Winkel, unter welchem die Strahlen einfallen, dadurch eine Veränderung erfährt.

Kehrt man den Hohlspiegel aufwärts, so kann zunächst (Fig. 105) die Entfernung zwischen dem Spiegel *AB* und der Linse *CD* so eingerichtet werden, dass ihre Brennpunkte bei *p* zusammenfallen. Der Fall ist dann der Art, dass sich ein leuchtender Punkt im Brennpunkte einer Linse befindet (§. 39), und folglich werden die durch die Linse *CD* gebrochenen Strahlen parallel sein. Das Gesichtsfeld *rv* wird dann

durch concentrirtes paralleles Licht erleuchtet, dessen Stärkegrad vom Verhältniss der Brennweite des Spiegels zu jener der Linse abhängt. Ist die letztere z. B. viermal kleiner als die erstere, dann ist der Durchmesser des auf das Gesichtsfeld treffenden Lichtbündels auch viermal kleiner, als von dem auf den Spiegel fallenden, und folglich ist die In-

Fig. 104.

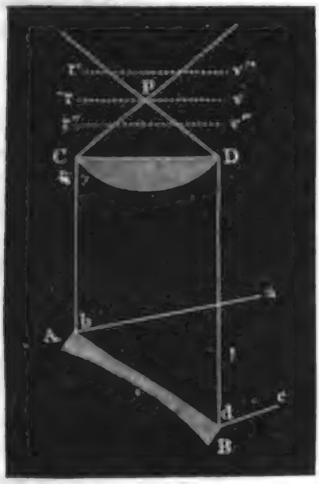
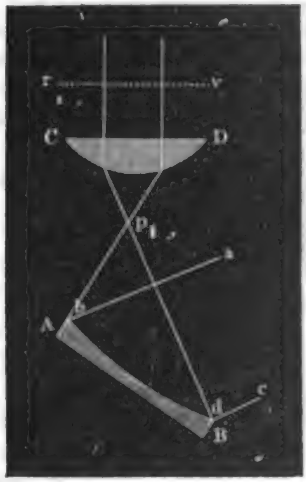


Fig. 105.



tensität des Lichts im Gesichtsfelde 16 Mal grösser. — Hat der Spiegel, wie es bei den meisten Mikroskopen der Fall zu sein pflegt, eine längere Brennweite als hier angenommen wurde, so kann man diese Entfernung mittelst einer zweiten Linse zwischen der ersten und dem Spiegel verkürzen.

Fig. 106.



Bei Aufwärtskehrung des Hohlspiegels kann ferner, wie in Fig. 106, die Entfernung der Linse vom Spiegel grösser sein als die Summe der beiden Brennweiten. In diesem Falle befindet sich ein leuchtender Punkt (hier der Brennpunkt *p* des Spiegels) ausserhalb des Brennpunktes einer Linse, und die durch letztere gebrochenen Strahlen, welche das Feld *rv* beleuchten, sind deshalb convergirend, und zwar um so mehr, je weiter die Linse vom Brennpunkte *p* entfernt wird. Bei solcher Stellung entspricht die Vereinigung des Spiegels mit der Linse einem einzelnen Hohlspiegel mit entfernterem Brennpunkte und der Apparat kann gleich einem solchen angewendet werden, wenn beim Gebrauche von Hohlspiegeln zur Beleuchtung

undurchsichtiger Objecte bereits concentrirtes convergirendes Licht auf dieselben fallen soll, weil das parallele Licht des Planspiegels nicht ausreichen würde.

Endlich werden die Strahlen bei Aufwärtskehrung des Hohlspiegels divergirend, wenn der Abstand des Spiegels von der Linse, wie in Fig. 107, kleiner ist als die Summe beider Brennweiten. Der Grad der Divergenz aber kann nach Willkür vergrössert oder verkleinert werden, indem man die Linse höher oder niedriger stellt.

Fig. 107.



Man sieht, dass man es mit einem solchen Beleuchtungsapparate ganz in seiner Gewalt hat, den Strahlen nach Willkür die relative Richtung zu verschaffen, welche der Art und der Form der Objecte, die dadurch sichtbar gemacht werden sollen, am besten entspricht. Wenn man während des Gebrauchs nicht immer genöthigt sein will, nach der Entfernung zu suchen, in welche die Linse gebracht werden muss, um den Lichtstrahlen eine bestimmte Richtung zu verschaffen, so ist es zweckmässig, man bringt an dem zu ihrem Auf- und Niederbewegen dienenden Apparate zweierlei Zeichen an: a) für die Stellung, wo ihr vorderer Brennpunkt mit jenem des Spiegels gerade zusammenfällt; b) für die Entfernung, in welche sie kommen muss, wenn ihr gegenüberliegender Brennpunkt auf ein auf dem Objecttische befindliches Object fallen soll, wobei auf die Dicke der gewöhnlich dabei benutzten Glasplättchen Rücksicht zu nehmen ist. Natürlich gelten dieseBestimmungen nur für Benutzung des Tageslichtes; bei künstlichem Lichte müssen die Abstände etwas modificirt werden, wenn nicht dessen divergirende Strahlen vorher in parallele umgewandelt wurden.

Was bereits vom Spiegel gesagt wurde, gilt auch von der in Frage stehenden Linse, dass nämlich in der normalen Stellung ihr Mittelpunkt in der optischen Axe des ganzen Mikroskops liegen muss, und dass sie zugleich eine seitliche Bewegung besitzen muss, damit auch schief auffallende Strahlen von verschiedener relativer Richtung und von verschiedenem Concentrationsgrade zur Beleuchtung benutzt werden können.

Eine Linse mit der genannten Brennweite ist allerdings in den meisten Fällen ausreichend. Doch ist es nicht unzweckmässig, wenn der Apparat so eingerichtet wird, dass diese Linse mit anderen Linsen oder Linsensystemen von kürzerer Brennweite vertauscht werden kann, weil diese gestatten, die Strahlen noch stärker divergirend zu machen, und weil viele schwer wahrzunehmende Einzelnheiten an sehr durchsichtigen Objecten um so besser hervortreten, wenn das Gesichtsfeld durch stärker

divergirende Strahlen beleuchtet wird. Dies erklärt sich von selbst aus dem, was über den Einfluss schief einfallenden Lichtes im Allgemeinen gesagt worden ist.

Diese Linse dient nun nicht blos dazu, verschiedenartig gerichtete 206
Strahlen auf das Object zu leiten, durch sie kann auch die dritte der oben aufgestellten Forderungen erfüllt werden, nämlich die Intensität des Lichtes zu vermehren und zu vermindern. Nur darf man nicht darin ihren Hauptzweck finden; denn man darf nicht vergessen, wenn man durch Auf- und Niederbewegen der Linse den Concentrationszustand des Lichtes verändert, dass in jenen Fällen, wo sie das Licht von einem Hohlspiegel erhält, zugleich auch die relative Richtung der Strahlen eine Aenderung erfährt.

Das eigentliche Ziel, nämlich die Regulirung der Lichtstärke, muss noch durch ein für sich bestehendes Mittel erreicht werden. Dieses Mittel besteht darin, dass ein Diaphragma in die Bahn der Strahlen kommt, so dass nur ein Theil des Strahlenbündels auf das Object fällt und das Gesichtsfeld erleuchtet. Für die Beobachtung ist es nicht gleichgültig, welchem Theile des Strahlenkegels auf diese Weise der Weg versperrt wird; denn beim Benutzen divergirenden und convergirenden Lichtes werden die Strahlen das Gesichtsfeld in einer um so schieferen Richtung erreichen, je mehr sie von einem näher dem Rande der Beleuchtungslinse gelegenen Theile kommen. Hat nun ein Mikroskop nur ein Diaphragma, wodurch ein grösserer oder kleinerer Theil der Randstrahlen abgeschnitten wird, so beschränkt sich die Wirkung eines solchen Diaphragma nicht blos auf eine Schwächung des Lichtes, sondern durch dasselbe werden ausserdem auch jene Beleuchtungsstrahlen weggenommen, die nach dem oben Angeführten zur Wahrnehmung mancher Einzelnheiten gerade das Meiste beitragen. Andererseits treten wieder andere Objecte am besten hervor, wenn sie durch Strahlen beleuchtet werden, die von einem näher der Axe gelegenen Theile des Beleuchtungsapparates kommen. Soll daher der Beleuchtungsapparat in dieser Hinsicht allen Forderungen genügen, so muss er mit zweierlei Arten von Diaphragmen ausgestattet sein: 1) mit solchen, wodurch ein grösserer oder kleinerer Theil der peripherischen Strahlen abgeschnitten wird; 2) mit solchen, wodurch ein mehr oder weniger grosser Theil der centralen Strahlen behindert wird, das Gesichtsfeld zu erreichen.

Die erstere Art von Diaphragmen ist schon seit langer Zeit in Gebrauch. Ueber ihren Nutzen ist man im Allgemeinen einig; es kommen aber mancherlei Modificationen derselben vor, sowohl was ihre Form betrifft als die Stelle, wo man sie anbringt. Oftmals haben sie die Form einer sich drehenden Scheibe, manchmal auch die Form einer verschiebbaren Platte, und in beiden Fällen sind mehrere Oeffnungen von verschiedener Grösse daran angebracht, durch welche ein mehr oder weniger grosses Lichtquantum tritt. Andere Optiker geben den nicht beweg-

lichen Diaphragmen, die sich weder drehen noch verschieben lassen, den Vorzug, wo dann die Mittelpunkte der Oeffnungen immer in der optischen Axe liegen. Die Aenderung in der Menge des zugelassenen Lichtes wird dann auf verschiedene Art bewirkt: entweder man wechselt blos mit anderen Diaphragmen von verschiedenartiger Oeffnung; oder man macht die Oeffnung durch mechanische Mittel weiter oder enger; oder endlich das Diaphragma wird auf und nieder bewegt, so dass bei niedriger Stellung um so mehr Licht abgehalten wird, wenn ein convergirendes Lichtbündel zur Beleuchtung dient, wogegen das Umgekehrte stattfindet, wenn das Lichtbündel aus divergirenden Strahlen besteht. Bei parallelen Lichtstrahlen übt ein solches Auf- und Niederbewegen des Diaphragma natürlich keinen Einfluss auf die Lichtstärke aus.

Was den Ort für das Diaphragma betrifft, so kann es zwischen der Lichtquelle und dem Spiegel, oder zwischen diesem und der Beleuchtungslinse oder dicht unter dem Objecttische, also zwischen diesem und der Beleuchtungslinse angebracht sein. Alle diese verschiedenen Stellungen des Diaphragma entsprechen mehr oder weniger vollkommen dem beabsichtigten Zwecke. Soll man aber zwischen ihnen wählen, so entscheidet Ein Umstand zu Gunsten der drehbaren oder verschiebbaren mit Oeffnungen versehenen Diaphragmen, dass nämlich bei solcher Stellung derselben zwischen Object und Licht, wobei der die Oeffnung begrenzende Rand einen Halbschatten ins Gesichtsfeld wirft, schwer wahrnehmbare Einzelnheiten eines Objects oftmals besser wahrnehmbar sind, als wenn sich die Oeffnung gerade in der Mitte befindet. Die letztere Stellung wird freilich verlangt, wenn ein ganzer Gegenstand von einiger Grösse recht gut übersehen werden soll. In dieser Beziehung verhält sich die excentrische Stellung des Spiegels und der Beleuchtungslinse ganz gleich wie diese Stellung der Diaphragmaöffnung. Eine solche Stellung muss stets die Ausnahme bleiben und niemals darf sie zu Anfang einer Untersuchung in Anwendung kommen; der geübte Beobachter wird aber oftmals darin das Mittel finden, dasjenige mit Leichtigkeit zur Ansicht zu bringen, was sich bei jeder centrischen Beleuchtung nur undeutlich oder selbst gar nicht darstellt. Hieraus folgt zugleich, dass die passendste Stelle für das Diaphragma die ist, wenn es in kleiner Entfernung unterhalb des Objecttisches angebracht wird.

Die zweite Art von Diaphragmen, durch welche die mittleren Strahlen abgehalten werden, so dass nur eine mehr oder weniger grosse Menge Randstrahlen ins Gesichtsfeld gelangt, ist ebenfalls in mehrfachen Modificationen ausführbar. Im Allgemeinen können sie aus einer gewissen Anzahl kreisförmiger kleiner Scheiben bestehen, die aus einer undurchsichtigen und geschwärzten Masse gebildet werden, und eine verschiedene Grösse etwa von 1 bis 6^{mm} haben. Diese kleinen Scheiben können an die dünnen Arme eines horizontal sich herumdrehenden Rädchens befestigt werden, oder, was noch besser ist, man klebt sie der Reihe nach auf einen Glasstreifen, jedoch mit hinreichend grossen Interstitien, dass,

wenn man es wünscht, Lichtbündel ganz ungehindert durchgehen können. Erlaubt es die übrige Einrichtung des Beleuchtungsapparates, so kann man auch statt mehrerer solcher Scheiben eine einzelne benutzen, die sich auf- und niederwärts bewegen lässt und eine desto grössere Menge mittlerer divergirender Strahlen abhält, je höher sie gestellt wird. Es hat diese Einrichtung vor der vorhergenannten den Vorzug, dass man beim Abwärtsbewegen der Scheibe allmälig und nach einander alle Beleuchtungsgrade durchmacht. Zu dem Ende muss sich die Scheibe unten auf ein verticales Stäbchen stützen, das unten einen Querarm hat, der in einer seitlichen Spalte eines unter der Beleuchtungslinse angebrachten Rohres auf- und abgleitet oder sonst auf eine entsprechende Weise bewegt wird. Immer aber sollte dieser kleine Apparat dergestalt eingerichtet sein, dass er, wenn man es wünscht, ganz weggenommen werden kann.

Ein Beleuchtungsapparat mit doppeltem Spiegel, einer planconvexen Linse und den beiderlei Arten von Diaphragmen, die alle nach den eben entwickelten Grundsätzen hergerichtet sind und in gehöriger Verbindung mit einander stehen, wird wohl bei weitem zu den meisten mikroskopischen Untersuchungen vollkommen ausreichen. Nur muss man zugeben, dass die damit bewirkte Beleuchtung keine aplanatische ist. Manche, wie Brewster und Dujardin, halten die aplanatische Beschaffenheit für eine unerlässliche Forderung und sind selbst der Ansicht, dass in dieser Beziehung der Beleuchtungsapparat gleich vollkommen müsse eingerichtet sein, als der übrige optische Theil des Mikroskops. Auch weiss man, dass durch einen nichtaplanatischen Beleuchtungsapparat die Bilder nicht ganz so scharf hervortreten, als durch einen solchen, wodurch beide Aberrationen möglichst verbessert sind. Eine andere Frage ist es aber, ob diese Verbesserung einen so bedeutenden Einfluss übt, dass wir dadurch in den Stand gesetzt werden, an einem Objecte Einzelnheiten wahrzunehmen, die bei gewöhnlicher Beleuchtung durch das nämliche Mikroskop nicht zu sehen sind? Erfahrungsgemäss lässt sich meines Erachtens auf diese Frage nicht mit Sicherheit eine bejahende Antwort geben. Es ist mir noch keine einzelne Beobachtung bekannt, die man blos bei Benutzung eines aplanatischen Beleuchtungsapparates auszuführen im Stande wäre; den schmalen Lichtsaum aber um die Ränder der Objecte, der bei Benutzung eines aplanatischen Beleuchtungsapparates verschwinden sollte, sieht man auch bei diesem immer, wenn das Licht gehörig gemässigt ist. Vergeblich wird man auch versuchen, diesen Lichtsaum zum Verschwinden zu bringen, er ist eben eine Interferenzerscheinung, die gerade am besten für den Aplanatismus der Bilder zeugt. Später, wenn ich von den nach diesem Principe eingerichteten Beleuchtungsapparaten handle, werde ich auch auf diesen Gegenstand zurückzukommen Veranlassung finden. 207

Hier will ich deshalb nur noch andeuten, dass bei der oben besprochenen Einrichtung eine Verbesserung der Aberrationen durch eine Lin-

senvertauschung sich herbeiführen lässt, entweder mit einem Doublet von gewöhnlicher Zusammensetzung aus zwei planconvexen Linsen, oder mit einem aplanatischen Herschel'schen Doublet, oder mit einem aplanatischen Linsensysteme.

Ueber die Beleuchtung durch homogenes oder monochromatisches Licht kann ich hier füglich weggehen; denn wenn man darin auch einen Versuch zur Verbesserung erkennen muss, von dem auch später noch ausführlicher die Rede sein soll, so fehlt dieser Beleuchtungsart bis jetzt wenigstens noch durchaus die Brauchbarkeit.

208 Zur Beleuchtung undurchsichtiger Objecte durch auffallendes Licht sind bei unseren neueren Mikroskopen keine künstlichen Mittel nöthig, um das Licht zu verstärken, so lange man nur mässige Vergrösserungen von 60 bis 70 Malen benutzt, weil dann die Oeffnungen der Objectivsysteme noch weit genug sind, dass ein Lichtbündel von hinreichender Helligkeit hindurchtritt. Da nun die meisten Beobachtungen dieser Art bei so geringen Vergrösserungen vorgenommen werden, so ist man jetzt weit weniger, als es früherhin der Fall war, in die Nothwendigkeit versetzt, concentrirtes Licht zur Untersuchung undurchsichtiger Objecte zu verwenden. Ist es nöthig, so giebt es verschiedene Mittel, die alle dem Zwecke entsprechen, wenn auch ihre Wirkung nicht durchaus die nämliche ist.

Zunächst kann eine seitlich vom Objecttische oder auch auf dem Objecttische selbst befindliche convexe Linse benutzt werden, oder aber ein dreiseitiges Prisma mit zwei gewölbten Oberflächen, das den nämlichen Zweck erfüllt, aber sonst gar keinen Vorzug verdient. Beide müssen ziemlich gross sein, damit sie ein breites Lichtbündel durchlassen, und durch eine passende mechanische Einrichtung müssen sie in die gehörige Richtung und in die gehörige Entfernung vom Objecte kommen, so dass auf letzteres die nöthige Menge concentrirtes Licht geworfen wird. Ist das Object so klein, dass es nur einen Theil vom Raume des Gesichtsfeldes einnimmt, dann ist ausserdem noch nöthig, dass der übrige Theil des Gesichtsfeldes eine passende Färbung hat, bei der die Farbe des Bildes am meisten absticht. Hierzu eignen sich in den meisten Fällen ganz gut schwarze oder weisse Täfelchen, auf welche die Objecte zu liegen kommen; bisweilen lassen sich auch andere Farben mit Vortheil anwenden. Immer ist es räthlich, dass diese Täfelchen matt sind, weil eine glänzende Oberfläche der Wahrnehmung sehr hinderlich ist.

Ein anderes Verfahren besteht darin, dass man durchbohrte concave Metallspiegel nimmt, die mit dem Objectiv dergestalt verbunden werden, dass ihre ausgehöhlte dem Objectiv zugekehrte Fläche durch den darunter befindlichen Spiegel ein Lichtbündel empfängt und dieses auf das Object reflectirt. Braucht die Beleuchtung nicht sehr stark zu sein, dann ist die

flache Seite des Spiegels dazu ausreichend. Zu stärkerer Beleuchtung dient der Concavspiegel, der, wenn sein Brennpunkt unter den Objecttisch fällt, im Verein mit der Linse so angewendet wird, dass ihre Stellung wie in Fig. 106 ist. Diaphragmen sind bei dieser Beleuchtungsart nicht blos nutzlos, sondern sogar schädlich, und müssen deshalb weggeschafft werden.

Auch hier muss unter das Object ein Täfelchen mit passender Färbung kommen, nicht blos deshalb, damit die Farbe des Objectes durch den Gegensatz besser hervorgehoben wird, sondern auch um zu verhindern, dass keine Strahlen direct vom Spiegel auf das Objectiv kommen. Grösse, Form und Stellung dieses Täfelchens sind daher in diesem Falle nichts weniger als gleichgültig. Damit es nicht mehr Licht als nöthig ist, abhält, muss es in den beiden ersten Beziehungen ganz mit der Oeffnung des Objectivs übereinstimmen, und was die vortheilhafteste Stellung anbelangt, so muss natürlich, wenn ein Täfelchen so gross wie die vordere Linse des Objectivs genommen wird, dieses sich immer genau in der Axe des Mikroskops befinden, damit alle überzähligen Lichtstrahlen abgehalten werden. Zu diesem Zwecke ist es deshalb am besten, wenn man ein solches Täfelchen mittelst einer einfachen Vorrichtung genau mitten in die Oeffnung des Objecttisches bringt, und man kann jene Diaphragmen benutzen, die im Allgemeinen zur Abhaltung der mittleren Strahlen bestimmt sind und von denen im vorigen Paragraphen die Rede war. Fehlt dem Mikroskope eine derartige Einrichtung, so kann man runde Glastäfelchen nehmen, die in die Oeffnung des Objecttisches passen, und in deren Mitte unten eine Kartenblattscheibe, die schwarz oder weiss gefärbt ist, festgeklebt wird. Bei dieser Einrichtung kann das Object dann frei bewegt werden, ohne dass man Gefahr läuft, einen Theil des Objectivs dem Zutritte von Lichtstrahlen blosszustellen.

Jede dieser beiden Beleuchtungsarten für undurchsichtige Objecte hat ihre eigenthümlichen Vor- und Nachtheile; man kann daher nicht ohne Weiteres die eine an die Stelle der anderen setzen. Dies erhellt schon daraus, dass bei der ersteren das Licht immer seitlich einfällt, wodurch starke Schlagschatten entstehen, während bei der letzteren das Licht mehr gleichmässig über die ganze Oberfläche vertheilt wird und die Schatten unbedeutend sind. So wird also in manchen Fällen die eine, in anderen die andere Beleuchtungsweise den Vorzug verdienen. Ein kleines Insect z. B. wird sich als Ganzes am hübschesten zeigen, wenn es mit einem reflectirenden Spiegelchen beleuchtet wird; will man aber die kleinen Härchen und Knötchen an seiner Oberfläche wahrnehmen, so wird sich das seitlich auffallende Licht einer Linse dazu weit besser eignen.

Letztere hat auch noch darin einen Vorzug, dass ihrer Benutzung durch die Grösse der Objecte keine Grenzen gesetzt werden; denn bei Anwendung des kleinen Spiegels muss diese Grösse stets eine beschränkte

sein, weil immer ein offener Raum übrig bleiben muss, damit das Licht vom grossen Spiegel hinkomme. Die reflectirenden kleinen Spiegel haben ihrerseits den Vorzug, dass sie auch noch bei stärkeren Vergrösserungen anwendbar sind; denn wenn das Objectiv dem Objecte zu sehr genähert ist, so werden die durch die Beleuchtungslinse gehenden Strahlen aufgefangen. Aus einer Vergleichung der beiden Mittel, welche zur Beleuchtung undurchsichtiger Objecte dienen, ergiebt sich, dass keine davon bei einem guten und zu jeglicher Art von Untersuchung passenden Mikroskope fehlen darf.

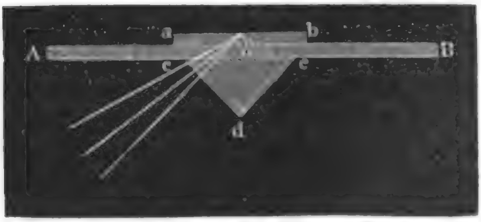
209 Ausser diesen beiden seit langer Zeit bekannten Beleuchtungsmethoden bei auffallendem Lichte sind in der letzten Zeit noch andere empfohlen worden, die auf dem Principe der totalen Reflexion beruhen.

Erstlich hat Riddell (*American Journ. of Sc. and Arts.* 1853. *June* p. 69) dazu einen gläsernen Ring benutzt, dessen obere Seite flach ist, während nach unten der äussere wie der innere Rand unter einem Winkel von 45° geschliffen sind, so dass diese Ränder, wenn sie verlängert werden, auf einander stossen würden. Ein solcher Glasring stellt daher ein ringförmiges Prisma vor, welches die von unten eintretenden Strahlen wiederum nach unten reflectirt. Zur Beleuchtung bei auffallendem Lichte wird dieser Glasring über das Objectiv gebracht, und letzteres dient dann zugleich dazu, die Strahlen auf dem Objecte zu concentriren.

Liegt auch dieser Methode ein geistreicher Gedanke zu Grunde, so steht doch nicht zu erwarten, dass sie jemals allgemeinen Eingang finde. Das Hauptbedenken gegen dieselbe liegt darin, dass der Glasring immer einen mehr oder weniger grossen Theil vom Rande des Objectivs selbst bedecken und somit dessen Oeffnung verkleinern muss, wodurch die Lichtstärke bedeutend abnimmt, und dass auch ausserdem die technische Herstellung so kleiner Glasringe, wie sie für die stärker vergrössernden Systeme erforderlich sind, in der That sehr mühsam ist.

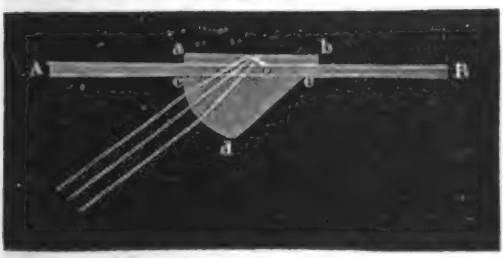
Nicht minder geistreich und dabei praktisch viel weiter greifend ist Wenham's (*Quarterly Journ. of microsc. Sc.* 1856. *July.* Nro. XVI. *Transactions* p. 55) Idee, die totale Reflexion an der oberen Fläche des Deckplättchens zu bewirken, wie es auf die einfachste Weise durch Fig. 108 erläutert wird. Hier stellt AB ein von der Seite gesehenes Objectglas dar, an welchem durch Canadabalsam ein rechtwinkeliges Prisma $c\,d\,e$ angeklebt ist; darüber liegt das Deckplättchen ab, und das bedeckte Object befindet sich in o. Letzteres darf bei dieser Methode niemals

Fig. 108.



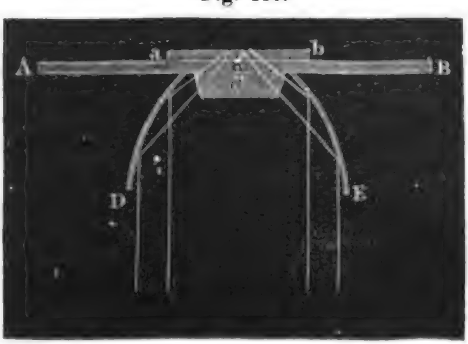
trocken, d. h. von Luft umgeben sein, sondern zwischen dem Deckplättchen und dem Objectglas muss sich etwas Flüssigkeit, am liebsten Terpentinöl oder Canadabalsam befinden, weil sonst die Strahlen natürlich schon auf einer der Grenzflächen total reflectirt werden würden, bevor sie noch bis zur oberen Fläche des Deckplättchens gelangen. Hat aber die ganze durchsichtige Masse vom Prisma bis zum Deckplättchen hin einen ziemlich gleichen Brechungsindex, dann wird ein Strahlenbündel, welches auf eine der dem rechten Winkel des Prisma angehörigen Seiten senkrecht trifft, seinen Weg bis zur oberen Fläche des Deckplättchens fortsetzen und dort eine totale Reflexion erleiden, ohne dass ein Strahl zu dem darüber befindlichen Objectiv gelangt. Somit bleibt das Gesichtsfeld dunkel und die darin befindlichen Objecte, je nachdem sie mehr oder weniger Licht reflectiren können, werden sich mehr oder weniger erhellt darstellen. Natürlich kann man die Beleuchtung noch verstärken, wenn man das einfallende Lichtbündel convergirend macht, wozu ein Hohlspiegel, oder eine concave Linse, oder auch nach Wenham ein kugelförmiges dreiseitiges Prisma genommen werden kann. Noch einfacher und nach meinen Versuchen gleich zweckmässig ist es, wenn man (Fig. 109) einer der den rechten Winkel begrenzenden Seiten des Prisma selbst eine convexe Oberfläche giebt, so dass es gleichzeitig die Stelle einer concentrirenden Linse versieht.

Fig. 109.



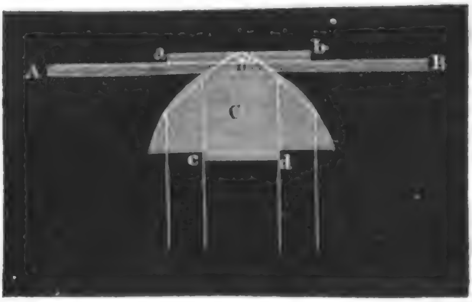
Wenham hat aber auch noch zwei andere Methoden angegeben, mittelst deren die beleuchtenden Strahlen von allen Seiten auf das Object geworfen werden sollen, so dass dieses viel stärker beleuchtet ist, als beim Gebrauche des Prisma, wo die Beleuchtung nur von einer Seite her erfolgt. Dies Ziel hat er erreicht, indem er eine halbkugelige Linse mit seinem parabolischen Reflector verband, und dann auch durch Benutzung eines gläsernen Paraboloids. — In Fig. 110 ist AB wiederum das Objectglas und ab das Deckplättchen; DE ist der Durchschnitt des parabolischen Reflectors, und C ist eine halbkugelige Linse, an der ein Segment abgeschliffen ist, so dass der übriggebliebene Theil etwa einem Drittel vom Durchmesser der Kugel entspricht.

Fig. 110.



Die abgeschliffene Fläche ist schwarz gemacht, damit kein Licht direct ins Mikroskop gelangen kann. Die Krümmung der Linsenoberfläche entspricht einem Radius von ungefähr $^2/_{10}$ eines englischen Zolls. Der Gang der Strahlen ist aus der Figur deutlich genug zu entnehmen und bedarf keiner näheren Nachweisung. — Dass das nämliche Ziel ebenso gut durch eine einzelne parabolische Linse, deren Spitze weggenommen ist, erreicht werden kann, ersieht man aus Fig. 111. Hier ist C der Durchschnitt dieses Paraboloids, dessen Unterfläche in der Mitte durch eine geschwärzte Platte cd bedeckt ist, die dem abgeschliffenen Theile des Paraboloids an Grösse gleichkommt, so dass die Strahlen des Spiegels nur im äusseren Glasmantel durchtreten und dessen Oberfläche erreichen können, wo sie die erste und weiterhin an dem Deckplättchen die zweite totale Reflexion erleiden.

Fig. 111.



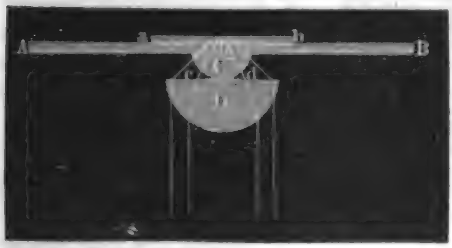
Es versteht sich von selbst, dass in diesen verschiedenen Fällen der Apparat auch eine Einrichtung bekommen kann, wobei die Objecte nicht unmittelbar auf eine fest mit dem Prisma, mit der Linse oder mit dem Paraboloid verbundene Glasplatte gelegt zu werden brauchen, sondern diese brechenden Körper in besondere kurze Röhren gefasst sind, die in die Oeffnung des Objecttisches passen, wobei man nur immer Sorge zu tragen hat, dass beim Aufsetzen von Objectgläsern durch eine interstitielle Flüssigkeit, am besten durch Terpentinöl, den Strahlen ein ungehinderter Durchgang gesichert bleibt.

Die paraboloidischen Reflexionsflächen haben offenbar den Zweck, die Strahlen soviel möglich in Einem Punkte zu sammeln, was merklich weniger der Fall sein würde, wenn man sphärische Oberflächen benutzte.

Es lässt sich aber nicht leugnen, dass die Verfertigung solcher Paraboloide, seien sie von Metall oder von Glas, zu den mühevollen Aufgaben gehört, und dass durch ihre Beigabe der Preis eines Mikroskops gar sehr erhöht werden würde. Es verlohnt sich daher wohl der Mühe, zu untersuchen, ob sich das gleiche Ziel nicht durch einfachere Mittel erreichen lässt. Die Berechnung thut dar, dass, wenn ein Bündel paralleler Strahlen auf eine hemisphärische Glaslinse fällt, nur ein Segment von 9° bis 11°, je nach dem Brechungsindex des benutzten Glases, die Strahlen schief genug bekommt, dass sie nach stattgefundener Brechung unter einem Winkel von weniger denn 41° (und das ist ungefähr der Grenzwinkel für gewöhnliches Glas) auf die Oberfläche der Linse oder einer durch Canadabalsam oder Terpentin damit verbundenen Glasplatte gelangen. Die hierdurch erhaltene Beleuchtung ist mithin sehr

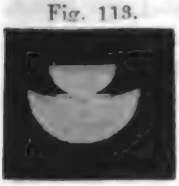
schwach, zumal da hierbei noch angenommen wird, die Linse sei wirklich eine Halbkugel, was doch in der Wirklichkeit sehr schwer zu erreichen ist; die Schälchen, worin die Linsen geschliffen werden, gestatten dies nicht. Die Linsen werden daher immer dem Radius der Kugel an Dicke nachstehen, und folglich wird immer jener Theil daran fehlen, wo die Strahlen am stärksten gebrochen werden. Man kann aber dadurch das Ziel erreichen, wenn man zwei beinahe hemisphärische Linsen so wie in Fig. 112 an einander stossen lässt. Die durch die untere Linse D bereits convergirend gemachten Strahlen gelangen dann zur obern kleineren Linse C und werden dadurch noch stärker convergirend. Um die nicht hinlänglich convergirenden Strahlen auszuschliessen, wird eine schwarze Scheibe, die etwas grösser ist als die obere Linse, zwischen beide Linsen gebracht. Das günstigste Verhältniss zwischen den Radien beider Linsen schien mir etwa wie 2 : 5 zu sein. Hat der Radius der oberen Linse 4, jener der unteren 10^{mm}, dann können die Objectplatte und das Deckplättchen zusammen 2 bis $2{,}5^{mm}$ dick sein.

Fig. 112.



Noch vortheilhafter als diese Verbindung würde jene sein, wo die unterste Linse, wie in Fig. 113, ein Meniscus mit einer sehr schwachen Krümmung der oberen Fläche wäre, so dass ebenfalls die Strahlen, welche auf den Randtheil treffen, in die Luft kommen und dann die zweite Linse erreichen. Nur steht zu bezweifeln, dass diese Verbesserung eine so weitgreifende sein sollte, um den grösseren Kostenaufwand zu verlohnen.

Fig. 113.



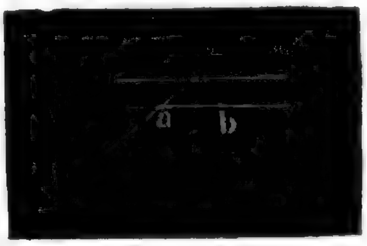
Was nun die praktische Brauchbarkeit dieser verschiedenen Methoden im Vergleich mit den früher beschriebenen anbelangt, so ist ihre Anwendbarkeit auf eine geringere Anzahl von Fällen beschränkt. Benutzt man schief auffallendes, durch eine Linse concentrirtes Licht, dann ist die Grösse der Objecte ganz unbegrenzt, und mit reflectirenden Hohlspiegeln können noch Objecte beleuchtet werden, die den Durchmesser der untersten Linse des Objectivsystems erreichen; dagegen sind die zuletzt betrachteten Methoden nur dann anwendbar, wenn die im Gesichtsfelde befindlichen Objecte sehr klein sind, da es klar genug ist, dass durch etwas grössere Objecte die Strahlen vom Deckplättchen werden abgehalten werden, und zwar um so mehr, je dünner das benutzte Deckplättchen ist. Aus Fig. 114 und Fig. 115 (a. f. S.) entnimmt man deutlich, wie wegen Gleichbleibens des Reflexionswinkels die Entfernung ab eine grössere sein muss, wenn das in diesen Figuren dargestellte Deckplättchen dicker ist. Für sehr kleine Objecte,

wie Diatomeen, Schüppchen von Schmetterlingsflügeln u. s. w., wenn sie ziemlich ausgebreitet im Gesichtsfelde liegen, ist aber diese Beleuchtungsmethode eine sehr passende, und sie hat vor den übrigen den bedeutenden Vorzug voraus, dass sie gleich gut bei den schwächsten wie bei den stärksten Vergrösserungen anwendbar ist. Mit dem zuletzt beschriebenen Linsensystem kann ich die Objecte stark genug beleuchten, dass sie bei einer 500maligen Vergrösserung beschaut werden können, und mit den vollkommeneren Einrichtungen Wenham's, wo die sphärische Aberration unbedeutender ist, werden die Objecte wahrscheinlich ein noch besseres Licht bekommen. Nur erscheinen die also beleuchteten Objecte immer einigermaassen wie in einen Lichtnebel gehüllt, so dass sie keinen so scharfen Gegensatz mit dem dunkelen Hintergrunde bilden. So verhält sich's nicht blos beim Gebrauche des Linsensystems, sondern Wenham giebt auch das Nämliche von seinen Hülfsmitteln an, und somit scheint diese Unvollkommenheit unzertrennlich von der Methode zu sein. Wahrscheinlich ist daran die Diffusion schuld, welche das reflectirte Licht in den Objecten sowohl als im umgebenden Medium erfährt, so dass unregelmässig zerstreute Lichtstrahlen nach allen Seiten geworfen werden und das umgebende Feld erleuchten. Ist aber auch diese Unvollkommenheit einigermaassen der Beobachtung hinderlich, so wird dennoch diese Beleuchtungsmethode in jenen Fällen, wo keine andere Beleuchtung möglich ist, nützliche Dienste leisten können, so dass sie als eine Verbesserung der mikroskopischen Untersuchung angesehen werden darf.

Fig. 114.



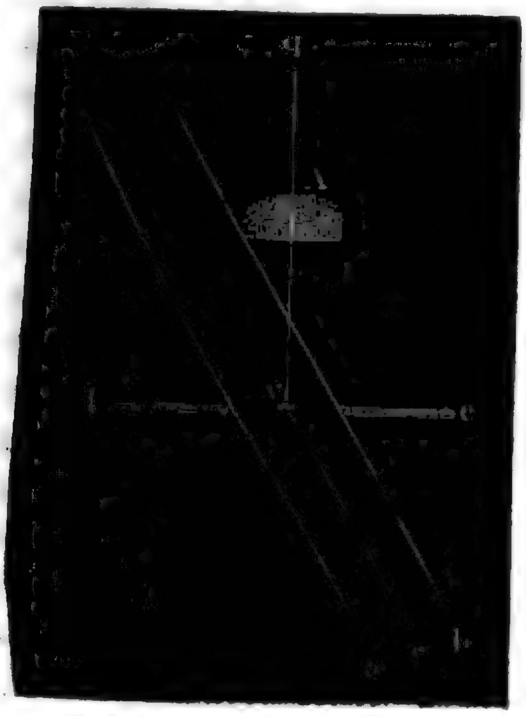
Fig. 115.



210 Es giebt noch eine Beleuchtungsweise, die zuerst von Reade (Goring *and* Pritchard, *Micrography* p. 227) und später auch von Carpenter (Todd's *Cyclop. of Anat. and Phys. Art. Microscope* p. 352) gelobt wurde, und die hier ihre Stelle finden mag, weil sie einigermaassen die Mitte hält zwischen den Beleuchtungen mit durchfallendem und mit auffallendem Lichte. Es wird nämlich der zur Beleuchtung bei durchfallendem Lichte erforderliche Apparat benutzt, wie denn das Verfahren überhaupt nur bei durchsichtigen Objecten anwendbar ist. Die Aehnlichkeit mit der Beleuchtung bei auffallendem Lichte liegt eben darin, dass nicht das Gesichtsfeld beleuchtet wird, sondern die Objecte selbst gleichsam lichtausstrahlend auf einem dunklen Hintergrunde gesehen werden. Es besteht aber diese Beleuchtungsweise darin, dass man entweder durch eine seitlich von der Axe des Mikroskops unter dem Objecttische angebrachte Kerze, oder durch eine stark excentrische Stellung des Spiegels das Licht in ganz schiefer Richtung auf das Gesichtsfeld kommen lässt, wobei dieses noch ganz verdunkelt erscheint, die Strahlen aber verschiedene

Brechungen und Reflexionen erleiden und ein hierdurch diffundirtes Licht durch das Mikroskop zum Auge gelangt. Ist (Fig. 116) *A* die unterste Linse eines an das Mikroskop befestigten Objectivsystems, *de* der durchbohrte Objecttisch, auf dem sich ein Object *v* befindet, und sind *a*, *b*, *c* die vom Spiegel oder von der Flamme kommenden Strahlen, dann werden *a* und *b* seitlich an der Linse vorbeigehen und nur *c* wird in der Richtung der optischen Axe *vq* reflectirt und tritt ins Mikroskop hinein. Man sieht daher die Objecte in ihren eigenthümlichen Farben, und das Gesichtsfeld ist dabei ganz schwarz. Wirklich bekommt man dadurch hübsche Bilder und sehr durchsichtige Objecte, Infusorien selbst lassen sich auf diese Weise noch ganz gut beobachten. Ich muss aber den Werth dieser Methode für wissenschaftliche Untersuchungen bezweifeln; man wird dadurch schwerlich etwas entdecken, was nicht eben so gut oder besser bei durchfallendem Lichte oder bei auffallendem Lichte gesehen werden kann. Auch ist sie, wie Mohl (Mikrographie S. 144) richtig hervorhebt, nur bei schwachen Vergrösserungen anwendbar, weil bei zu starker Annäherung des Objectes zum Objectiv das Licht, wie man bei Betrachtung der Figur sieht, ganz oder zu einem guten Theil ins Mikroskop tritt, so dass das Gesichtsfeld dann nicht mehr verdunkelt gehalten werden kann.

Fig. 116.



Indessen ist diese Methode späterhin durch Wenham verbessert worden, und namentlich hierzu empfahl er zuerst den parabolischen Reflector (Fig. 117), von dem schon oben die Rede war. Dieser Reflector *AB*, aus Spiegelmetall verfertigt und von Paraboloidform, hat die Wirkung, dass alle parallele Strahlen, welche von unten her auf seine Wandungen fallen, in dem Brennpunkte *o* sich kreuzen, wo auch das Object befindlich ist. Somit erscheint auch hier das Object in Beleuchtung auf einem schwarzen Hintergrunde. Um die Abhaltung des Lichtes noch bestimmter zu erreichen, befindet sich in einiger Entfernung unter der Objectplatte eine schwarz gefärbte Scheibe *ab*.

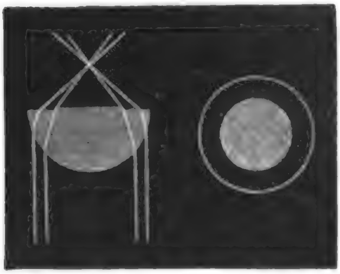
Fig. 117.



Das nämliche Ziel lässt sich mittelst des gläsernen Paraboloids erreichen, wovon im vorigen Paragraphen die Rede gewesen ist, und eben

so, jedoch wegen der sphärischen Aberration nicht ganz so vollkommen, mittelst einer beinahe halbkugeligen Linse (Fig. 118), deren Mitte mit einem schwarzen Scheibchen bedeckt ist, so dass nur die ganz schiefen am Rande auffallenden Strahlen zum Objecte kommen können. Eine solche Linse erhöht den Preis eines Mikroskops nur unbedeutend, und darf als eine sehr nützliche Beigabe angesehen werden, da sie nicht nur bei schwachen Vergrösserungen für den genannten Zweck dienlich ist, sondern bei stärkeren auch dazu gebraucht werden kann, die Objecte bei durchfallendem Lichte, also in einem beleuchteten Gesichtsfelde zu sehen, als würden sie ringsum von sehr schief auffallenden Strahlen getroffen, wodurch manche Einzelnheiten noch deutlicher hervortreten, als wenn eine Beleuchtungslinse mit kleinem Oeffnungswinkel in Verbindung mit centralen Diaphragmen angewandt wird.

Fig. 118.



211 Neben der passenden Einrichtung des Beleuchtungsapparates selbst übt auch die Art des Lichtes, das zur Beleuchtung genommen wird, einen grossen Einfluss. Man kann das Sonnenlicht dazu benutzen, aber auch verschiedenartiges künstliches Licht. Beide haben ihre Vorzüge und Nachtheile, und es sind einige Vorsichtsmaassregeln nöthig, wenn sie mit grösstem Vortheil angewandt werden sollen.

Directes Sonnenlicht ist nur in Einem Falle gut zu benutzen, um nämlich undurchsichtige Objecte durch auffallendes Licht zu beleuchten. Hier muss man ihm in den meisten Fällen vor jedem anderen Lichte den Vorzug geben. Zur Beleuchtung durchsichtiger Objecte ist es unbedingt zu verwerfen, auch wenn es, nach dem Vorschlage von Chevalier (Die Mikroskope u. ihr Gebrauch S. 67), durch gefärbte Gläser so geschwächt ist, dass das Auge durch die Beobachtung nicht angegriffen wird. Ich habe wie Mohl (Mikrographie S. 147) gefunden, dass Probeobjecte bei solchem Lichte nicht so deutlich erkannt werden, wie bei gewöhnlichem Tageslichte. Bei schwach durchscheinenden Objecten, z. B. bei ganzen Blättern, an denen man die Bewegung des Milchsaftes wahrnehmen will, könnte man in Versuchung gerathen, die Beobachtung bei direct durchfallendem Lichte anzustellen, wie es Schultz auch wirklich empfohlen hat. Man misstraue aber stets den Resultaten einer solchen Beobachtung: das durch eine hell durchscheinende Masse fallende Sonnenlicht bewirkt durch die mannigfache Interferenz immer ein Geflimmer, und dieses wird sehr leicht für Bewegung gehalten. Auch haben unsere jetzigen Mikroskope Lichtstärke genug, dass solche Beobachtungen, bei schwächeren Vergrösserungen wenigstens, bei gewöhnlichem Tageslichte vorgenommen werden können, und späterhin werden wir dann auch noch verschiedene

Hülfsmittel kennen lernen, um die Durchsichtigkeit der untersuchten Gegenstände bedeutend zu vermehren.

Ist nun aber auch das directe Sonnenlicht unbrauchbar, so eignet sich andererseits das auf die eine oder die andere Weise zerstreute oder diffus gemachte Sonnenlicht ganz vorzüglich zu mikroskopischen Untersuchungen. Auf doppelte Art lässt sich das Sonnenlicht in einen solchen Zustand versetzen: 1) Man lässt dasselbe durch halbdurchsichtige Körper gehen, die einen Theil des Lichts absorbiren oder reflectiren, und einen anderen Theil durchlassen, der dann zur Beleuchtung des Gesichtsfeldes dient. 2) Man fängt das Licht auf, welches durch eine beleuchtete weisse Oberfläche reflectirt wird.

Nun ist es keineswegs gleichgültig, welches von diesen beiden Mitteln man zur Beleuchtung mikroskopischer Gegenstände wählt. Die Erfahrung lehrt, dass das erstgenannte Verfahren im Allgemeinen verwerflich ist: davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man ein Stück weisses Papier unter den Objecttisch des Mikroskops bringt, und dasselbe von unten her mittelst des Spiegels stark durch die Sonne beleuchtet. Man wird dann finden, dass das Gesichtsfeld allerdings vollkommen beleuchtet ist, nichts desto weniger aber alle durchscheinenden Objecte nur sehr unbestimmt sichtbar sind. Der Grund davon liegt in der zu grossen unregelmässigen Zerstreuung der Lichtstrahlen beim Durchgange durch die Fasern des Papiers, so dass fast kein Strahl unverändert seinen ursprünglichen Weg fortsetzt und zur Sichtbarmachung des Objects beiträgt. Das Nämliche tritt ein, wenn man andere halbdurchscheinende Körper, etwa eine dünne Schicht weisses Wachs oder Milch, in die Bahn der Strahlen bringt. Das Gesichtsfeld kann noch so gut erhellt sein, und dennoch fällt die Beobachtung immer ganz unvollkommen aus. Glas, das an einer seiner Oberflächen matt geschliffen ist, entspricht dem Zwecke allerdings besser als die genannten Körper; eine solche Oberfläche kann man nämlich so ansehen, als bestände sie abwechselnd aus rauh geschliffenen, also diffundirenden Punkten und dazwischen liegenden hellen Zwischenräumen, durch welche die Strahlen in der ursprünglichen Richtung treten. — Donders (*Nederl. Lancet* 5. Jaarg. 2. Serie p. 309) fand es sehr vortheilhaft, matt geschliffene Scheiben in das Fenster einzusetzen, durch welches der Mikroskopspiegel sein Licht erhält. Ich kann dies vollkommen bestätigen, namentlich für den Fall, dass das Fenster nach Süden gelegen ist, und die Sonne daher bei hellem Himmel während eines grossen Theils des Tages ins Zimmer scheint. Richtet man den Spiegel nach einer solchen Scheibe, die von hinten durch die Sonne beschienen wird, so hat man in der That eine gleich gute Beleuchtung mit diffusem Lichte, als wenn das durch eine weisse Wolke reflectirte Sonnenlicht darauf fiele. Um sich aber auch die Benutzung des directen Sonnenlichts zu sichern, ist es gut, wenn man die matt geschliffenen Scheiben nicht permanent in den Rahmen einfügt. In dem Zimmer, worin ich zu arbeiten pflege, habe ich die Einrichtung getroffen, dass diese Scheiben

in besonderen Rahmen längs der anderen durchsichtigen Fensterscheiben auf- und abgeschoben werden können, und mittelst einer über eine Rolle laufenden Schnur lassen sie sich zur gewünschten Höhe hinaufziehen und wiederum senken. Man muss aber aus verschiedenen matt geschliffenen Gläsern eine passende Wahl treffen, weil nur bei einem richtigen Verhältniss zwischen dem diffundirten und dem direct durchdringenden Lichte der gewünschte Erfolg erreicht wird. Dabei vergesse man nicht, dass nur Eine Glasoberfläche matt geschliffen sein darf; sind es beide, dann wirkt die Glasscheibe ganz so wie die weiter oben genannten Körper.

Wir lernen hierdurch eine interessante Eigenthümlichkeit der mikroskopischen Beleuchtung kennen, dass nämlich nur der diffus gemachte Theil des Lichtes zur Beleuchtung des Gesichtsfeldes dienen muss, so dass dessen Farbe am stärksten mit jener des Objects contrastirt, also hellweiss sein muss, wenn das durchsichtige Object farblos ist, damit die Schatten schwarz ausfallen, dass aber das bereits diffuse Licht zum eigentlichen Sichtbarmachen des Objects selbst nichts beiträgt. Es können dazu nur solche durchfallende Strahlen dienen, die nicht unregelmässig zerstreut werden, und deshalb entspricht das von weissen Oberflächen reflectirte Licht dem Zwecke besser, als das durch halbdurchsichtige weisse Körper durchfallende Licht, da in den ersteren gewöhnlich eine grössere Menge regelmässig reflectirter Strahlen enthalten ist, als in dem letzteren.

Unter allen das Sonnenlicht reflectirenden weissen Oberflächen verdienen zuverlässig weisse Wolken den Vorzug. Es ist schon weniger gut, wenn man den Spiegel auf den blauen unbewölkten Himmel richtet; denn wenn auch diese Farbe dem Auge sehr angenehm ist, so treten dabei die feinen Einzelnheiten der Bilder nicht so scharf hervor, weil der Gegensatz nicht so entschieden ist.

Brücke (Sitzungsberichte der Kais. Akad. 1856. Bd. 21. Hft. 2. S. 430) hat noch auf eine andere Eigenthümlichkeit aufmerksam gemacht, in deren Folge das blaue Licht des Himmels eine schädliche Wirkung haben kann. Aus den Untersuchungen von Stokes und Helmholtz nämlich hat sich ergeben, dass organische Gewebe nicht ganz frei von innerer Dispersion sind. Haben nun, wie das beim Lichte des blauen Himmels der Fall ist, die Strahlen von grosser Brechbarkeit ein starkes Uebergewicht, dann können die Objecte, durch welche das Licht dringt, selbst leuchtend werden, und dadurch nimmt die Deutlichkeit des negativen Bildes ab. Um dieser nachtheiligen Eigenschaft abzuhelfen, empfiehlt Brücke eine Lamelle Canarienglas oder Uranglas, das man leicht im Handel bekommt, auf den Objecttisch zu legen; dieses ist im Stande, nicht allein die blauen und violetten Strahlen für das Auge wegzunehmen, sondern sie auch in Strahlen von längerer Schwingungsdauer umzuwandeln. Er benutzte Tafeln von 2 bis 3^{mm} Dicke und von mittlerer Farbe, meint aber, dass mit Vortheil Tafeln von 3 bis 4^{mm} Dicke benutzt werden könnten. — Ich selbst habe dieses Mittel bis jetzt noch nicht versucht. Es lässt sich übrigens vermuthen, dass auch andere Körper, die

das nämliche Vermögen besitzen, z. B. eine Auflösung von schwefelsaurem Chinin, die nämlichen Dienste leisten werden.

Sind keine Wolken am Himmel, dann kann man das Sonnenlicht vortheilhaft durch künstliche Mittel im diffundirten Zustande reflectiren, und es lassen sich hierzu verschiedene Wege einschlagen. So kann der Spiegel gegen eine von der Sonne beschienene weisse Wand gerichtet werden, gegen ein helles weisses Papier oder gegen eine andere glatte weisse Fläche. Unter manchen Umständen, wenn das Object selbst gefärbt ist, kann es auch vortheilhaft sein, das von einer gefärbten Oberfläche kommende Licht aufzufangen. Der Spiegel kann ferner nach Goring's Rathe mit einer Gypsplatte bedeckt werden, oder, was fast eben so gut ist, mit einem Stück sehr weissen Papier, worauf man dann das Sonnenlicht fallen lässt. Varley (*Todd's Cyclop. of Anat. and Phys.* Art. Microscope p. 251) hat zu dem nämlichen Zwecke angerathen, den Spiegel mit Pulver von kohlensaurem Natron oder von weissem Glas zu bestreuen.

Man halte aber fest, dass alle diese Hülfsmittel nur dann am Platze sind, wenn das durch die Wolken diffus reflectirte Licht fehlt. Kann man den Spiegel solchem Lichte zukehren, so verdient es stets den Vorzug, und zwar um so mehr, weil dann das Mikroskop selbst ganz in Schatten gestellt werden kann. Zwar fehlt es den Bildern nicht an Nettigkeit, wenn das Instrument in der Sonne steht, wenn nur das Sonnenlicht selbst nicht unmittelbar aufgefangen und unverändert reflectirt wird; das Auge des Beobachters ist aber alsdann zum genauen Sehen weniger geeignet, weil auch alle umgebenden Gegenstände stark beleuchtet sind, so dass seine Pupille stark verengt ist und weniger Licht durchlässt. Sind weisse Wolken am Himmel, dann stellt man das Mikroskop am besten in einiger Entfernung von einem Fenster auf, welches nach Norden (Nordost oder Nordwest) geht. Wünschenswerth ist es aber, dass sich in einem zu mikroskopischer Beobachtung bestimmten Zimmer noch ein anderes Fenster nach Süden vorfinde, weil man alsdann, wenn der Himmel auch unbewölkt ist, bei diffusem weissen Lichte beobachten kann. Können nur an einer Seite des Zimmers Fenster sein, dann ziehe ich es selbst vor, wenn sie nach Süden gehen, weil man durch gehörig angebrachte Schirme im Stande ist, nach Willkür das directe Sonnenlicht von allen Punkten, wo es hinderlich ist, abzuhalten. Denn nur zu häufig, namentlich bei der Beleuchtung undurchsichtiger Objecte, bewährt sich seine Benutzung sehr vortheilhaft, und sein gänzlicher Abschluss in einem nur nach Norden freien Zimmer muss daher als ein ungünstiger Umstand erscheinen.

Von Manchen ist der Rath gegeben worden, bei mikroskopischen Untersuchungen das ganze Zimmer zu verdunkeln mit Ausnahme einer kleinen Oeffnung, durch welche das Licht auf den Spiegel fällt. Für ein solches Verfahren lässt sich nur der Umstand anführen, dass in einem solchen fast dunkeln Raume die Pupille sehr weit geöffnet ist und folglich auch mehr Licht eindringen lässt. Früherhin, als man genöthigt

war, die Oeffnung der Linsen sehr zu verkleinern, konnte dieses Verfahren auch noch Vortheile gewähren. Bei unseren jetzigen Mikroskopen dagegen ist es nicht nur ganz überflüssig, sondern geradezu schädlich, weil, wenn der Durchmesser der Pupille zu gross wird, ein Theil der Strahlen in zu schiefer Richtung eindringt, so dass das Netzhautbildchen weniger scharf ausfällt, als wenn es blos durch Strahlen erzeugt wird, die etwas näher der **Axe** durchgehen. Sollte es aber wegen geringer Lichtstärke des Bildes nöthig sein, den Zutritt andern Lichts von der Pupille abzuhalten, so genügt hierzu die über das Ocular gehaltene Hand meistens vollkommen.

Wichtiger ist die Abhaltung des auffallenden Lichts, wenn man bei durchfallendem Lichte beobachtet; sie ist sehr nöthig und zwar um so mehr, je schwächere Vergrösserungen man anwendet. Diese Lichtabhaltung erreicht man meistens auf hinreichende Weise, wenn ein Schirm so gestellt wird, dass sein Schatten auf das Object fällt. Noch besser erreicht man dieses Ziel durch eine Art Ring oder Futteral von hinlänglicher Weite, dass das Objectiv bei seiner Annäherung zum Objecte nicht behindert wird.

212 Die Beleuchtung durch Tageslicht verknüpft sich nothwendiger Weise mit einer Unvollkommenheit, das ist die Unbeständigkeit der Beleuchtung als Folge des veränderlichen Zustands des Himmels. Durch vorbeiziehende Wolken, die eine verschiedenartige Lichtmenge reflectiren, wechselt der Grad der Beleuchtung manchmal jeden Augenblick, zum grossen Schaden der Beobachtung, weil das Auge dann das eine Mal mehr, das andere Mal weniger Licht empfängt und nicht zu der Ruhe kommt, welche zu jedem scharfen Gesichtseindrucke erforderlich ist. Auch geschieht es bei uns nicht selten, dass die Sonne Tage lang durch einen dichten und dunkeln Wolkenschleier verdeckt ist und das hindurch schimmernde Licht kaum ausreicht, um bei schwachen Vergrösserungen etwas zu beobachten. Man müsste dann aber mühsamere Untersuchungen, die eine stärkere Vergrösserung und mehr Licht verlangen, aussetzen, wenn man nicht das Sonnen- oder Tageslicht durch künstliches Licht ersetzen könnte. Der Hauptvorzug des letzteren, wodurch es dem Tageslichte offenbar den Rang abläuft, liegt wirklich in seiner Beständigkeit oder Gleichförmigkeit. Freilich hat man auch gegen seine Anwendung mehr oder weniger begründete Einwürfe erhoben. Am bedeutendsten fällt wohl der Einwurf ins Gewicht, dass, wie Mohl (a. a. O. S. 150) angiebt, mikroskopische Präparate bei Tageslicht angefertigt werden müssen, und es nach ihm wohl Niemand einfallen wird, »sich mit dem Präparate ins dunkle Zimmer einzuschliessen, um im Lampenlichte einen schlechten Ersatz für das Tageslicht zur Beobachtung desselben zu suchen.« Gern gestehe ich die Richtigkeit dieser Bemerkung zu, wo es sich um schwer anzufertigende Präparate handelt, um sehr feine Durchschnitte, um das Bloslegen der Theile unter der Lupe u. s. w.; doch muss ich auch hinzufügen,

dass ziemlich viele mikroskopische Präparate sich ganz gut bei künstlichem Lichte anfertigen lassen, und dass namentlich die Zubereitung thierischer Stoffe und Gewebe zur mikroskopischen Untersuchung bei guter künstlicher Beleuchtung in den meisten Fällen mit der nämlichen Leichtigkeit wie beim Tageslichte erfolgen kann, wie eine vieljährige Erfahrung mich belehrt hat. Ich setze dies um so lieber hierher, weil viele von denen, in deren Händen ich das Mikroskop so gerne als ein allgemein gebrauchtes Instrument zu sehen wünsche, die praktischen Aerzte nämlich, durch ihre Thätigkeit sich meistens ausser Stand befinden, vom Mikroskope anders als zur Abendzeit Gebrauch zu machen. Sie dürfen sich überzeugt halten, dass alle sie interessirende Untersuchungen eben so gut, wenn nicht besser, bei künstlichem Lichte wie bei Tageslichte ausführbar sind.

Andere gegen das künstliche Licht erhobene Beschuldigungen beziehen sich mehr auf seine unpassende Anwendung, als auf die Beleuchtungsart an und für sich. So hat man ihm zur Last gelegt, dass es die Augen in stärkerem Grade ermüdet. Dies ist allerdings der Fall, sobald eine zu starke Beleuchtung in Anwendung kommt; trägt man aber Sorge, das Licht so zu reguliren, dass die Beleuchtung des Gesichtsfeldes nicht über das erforderliche Maass hinausgeht, wobei die Bilder gehörig gesehen werden, dann läuft man in dieser Hinsicht gar keine Gefahr. Ich habe mehrmals 6 bis 8 Stunden hinter einander bei künstlichem Lichte mikroskopische Untersuchungen vorgenommen, ohne eine Ermüdung der Augen zu spüren. Andere mögen es vielleicht nicht so lange aushalten; denen wird aber auch bei Tageslicht die Anstrengung des Auges bald beschwerlich fallen.

Man hat ferner am künstlichen Lichte die gelbe Färbung getadelt. Auf die Genauigkeit der Beobachtung indessen kann diese Färbung keinen Einfluss haben, ausser wo es auf Erkennung von Farben ankommt. Ueberdies lässt sich hierin durch passende Wahl des künstlichen Lichts schon etwas abhelfen. Die Flamme einer Talgkerze ist röthlichgelb, jene einer Wachskerze mehr rein gelb. Beide eignen sich aber nicht zur Benutzung, nicht blos der Farbe halber, sondern weil die Flamme durch jeden Luftstrom bewegt wird. Besser entspricht schon eine Argand'sche Lampe, namentlich wenn sie eine Zugröhre hat, wodurch das Licht weisser wird, ebenso auch die Flamme von Lampen mit Terpentinöl und Alkohol oder Camphinelampen, sowie die mit Unrecht sogenannten Lampen mit flüssigem Gase. Eine helle Gasflamme, von einer gläsernen Röhre umgeben, entspricht dem Zwecke am allerbesten. Das elektrische Licht zwischen Kohlenspitzen und das Licht einer Flamme von Hydrooxygengas auf Kalk zeichnen sich zwar durch ihre weisse Farbe aus, nur ist deren Darstellung zu mühsam, als dass sie bei gewöhnlichen Untersuchungen zu benutzen wären.

Man kann ferner das Gelbe oder Röthliche des künstlichen Lichts in Weiss umwandeln, wenn man in die Bahn der Strahlen solche Medien bringt, welche die abundanten rothen und gelben Strahlen im Lichte ab-

sorbiren und nur solche durchlassen, deren relative Menge möglichst jener der verschiedenartig gefärbten Strahlen entspricht, aus denen das weisse Licht der Sonne zusammengesetzt ist. Dies geschieht dadurch, dass man die Strahlen durch eine Glasplatte oder durch eine Feuchtigkeit gehen lässt, die zu der Farbe der Flamme complementär, nämlich blau ist*). Das Blau muss nun aber, je nach der Flammenart, wiederum verschieden nüancirt sein, da nicht jedes blaue Glas oder jede blaue Flüssigkeit dem Zwecke entspricht; durch besondere Prüfung muss die passende Nüance vorher bestimmt werden.

Verschiedene Wege können dazu führen. So hat ein Ungenannter (Dingler's polyt. Journ. 1844. Bd. 92, S. 398) den Polarisationsapparat empfohlen. Auf die Objectplatte eines polarisirenden Mikroskops bringt man einige Krystalle, die dem zweiaxigen Systeme angehören; namentlich eignen sich dazu recht gut jene Krystalle, welche beim Verdunsten einer Auflösung von chlorsaurem Kali auf einem Glasplättchen entstehen. Man dreht dann den Analysator dergestalt, dass einer von den Krystallen oder ein Theil desselben in der gelben Färbung erscheint, die der Flamme eigenthümlich ist. Wird derselbe hierauf um einen Winkel von 90° gedreht, so erscheint der nämliche Krystall in der complementären blauen Farbe. Versucht man indessen diese Methode, so wird man finden, dass es sehr schwer hält, genau jenes Gelb zu ermitteln, welches jenem der Flamme entspricht. Ueberdies haben auch nur wenige einen Polarisationsapparat bei ihrem Mikroskope, und deshalb ist folgendes Verfahren, dessen Idee ich meinem Collegen van Rees verdanke, einfacher und zugleich auch besser. Wenn man durch das nämliche Object zwei Schatten werfen lässt, einen vom Tageslichte, den anderen von künstlichem Lichte, so sind diese Schatten bekanntlich gefärbt und zwar so, dass die Farbe des einen zu der des andern complementär ist. Lässt man nun durch eine Oeffnung in einem dunkelen Zimmer das Tageslicht auf ein weisses Papier fallen, vor welchem eine Latte oder etwas dergleichen gehalten wird, und man stellt in passender Entfernung eine Flamme oder eine Lampe auf, so bemerkt man auf dem Papiere einen gelben Schatten vom Tageslichte und einen blauen Schatten vom künstlichen Lichte. Ersterer zeigt die Farbe der Flamme, letzterer deren complementäre Farbe. Bringt man dann in die Bahn der Strahlen ein Medium (eine Glasplatte oder eine Flüssigkeit), dessen Farbe mit dem complementären Blau stimmt, so werden, bei gehöriger Entfernung des Schirmes, die beiden Schatten zugleich schwarz erscheinen.

Auch auf eine mehr directe Weise lässt sich das passende Medium

---

*) Dieses Verfahren wurde von Griffith (*Annals of natural history*. XII. p. 481) empfohlen. Die Grundsätze übrigens, von denen er dabei ausging und seine Erklärung von der Wirkung der blauen Medien sind ganz falsch, wie Mohl (Mikrographie S. 152) dargethan hat.

ausfindig machen, wodurch ein künstliches Licht weiss gemacht werden kann. Man bringt dasselbe zu dem Ende in einen Kasten mit einer kleinen Oeffnung und stellt diesen vor ein Fenster, das verschliessbar ist, aber so, dass eine kleine Oeffnung übrig bleibt zum Eintritte des Tageslichtes. Das durch beide Oeffnungen fallende Licht fängt man auf einem Stücke weissen Papiers auf und dann hält man nach einander verschiedene blau gefärbte Medien zwischen die Oeffnung im Kasten und das Papier, bis man jenes ausfindig macht, wobei die Farbe des Lichtes auf dem Papiere sich in beiden Fällen ziemlich gleich darstellt, nämlich weiss.

In der Regel wird es vortheilhaft sein, wenn man die Wahl blos auf solche Glassorten richtet, die sehr hellblau gefärbt sind. Benutzt man eine blaue Flüssigkeit, so muss diese in einem Glasgefässe mit flachen parallelen Wänden enthalten sein. Am passendsten erschien mir dazu eine sehr verdünnte Auflösung von schwefelsaurem Kupferoxydammonium.

Dabei ist noch ein Punkt zu beachten. Hat man ein Medium, wie etwa eine Glasplatte, gefunden, das nach der stattgefundenen Untersuchung die complementäre Farbe der Flamme besitzt, und man legt nun Abends diese Glasplatte auf den Objecttisch des Mikroskops, so wird das Gesichtsfeld nicht weiss, sondern stets bläulich sich darstellen. Dies ist nur Wirkung des Contrastes: die Flamme sowohl als alle dadurch beleuchteten weissen Körper sind gelb gefärbt, und wenn man nun nach wirklichem weissen Lichte sieht, so tritt dieses mit der blauen complementären Farbe auf. Es ist daher nicht ausreichend, wenn man weisse Strahlen zur Beleuchtung des Gesichtsfeldes im Mikroskope benutzt; alles Licht, auch ausserhalb des Mikroskops, muss auf gleiche Weise entfärbt werden. Das geeignetste Mittel hierzu würde sein, wenn man die Flamme vollständig mit einem Glase von der passenden Farbe umgäbe. Da man sich aber dergleichen nur schwer verschaffen kann, so kann man sich damit begnügen, eine ziemlich grosse Glasplatte oder ein mit Flüssigkeit gefülltes Gefäss dicht vor die Flamme zu bringen. Verfährt man dabei etwas vorsichtig, so ist es möglich, dem Gesichtsfelde auf diese Weise einen Farbentint zu verschaffen, der nicht allein dem Auge sehr angenehm ist, sondern auch wirklich kaum von jenem des Tageslichts unterschieden werden kann.

Man hat endlich dem künstlichen Lichte das Funkeln und Flimmern zum Vorwurfe gemacht. Dieser Tadel passt aber nur für den Fall, dass bei Anwendung des künstlichen Lichts jene Sorge verabsäumt wird, die man auch beim Sonnenlichte nicht ausser Acht lassen darf, nämlich nicht das direct ausstrahlende Licht aufzufangen, sondern das vorher diffundirte. Die Regel muss sein, dass man dies niemals verabsäumt, ausser bei der Beleuchtung undurchsichtiger Objecte durch auffallendes Licht, wo, wie bereits erwähnt, auch beim Sonnenlichte diese Vorsorge nicht erfordert wird.

Das Diffundiren des Sonnenlichts wird, wie wir gesehen haben, am besten durch Reflexion von weissen Oberflächen erreicht. Das Nämliche kann auch beim künstlichen Lichte geschehen, und namentlich erhält man eine ausnehmend schöne Beleuchtung, wenn das zwischen Kohlenspitzen sich bildende elektrische Licht, oder wenn das Licht der auf Kalk treffenden Hydrooxygengasflamme durch eine weisse Oberfläche reflectirt wird. Dem gewöhnlichen Lampen- oder Gaslichte fehlt aber die nöthige Intensität, um auch bei ihnen dieses Princip zur Anwendung bringen zu können, ausser bei schwachen Vergrösserungen. Bei ihnen ist es deshalb besser, wenn man vor die Lichtquelle ein matt geschliffenes Glas bringt, das nach dem im vorigen Paragraphen Angegebenen nur an Einer Fläche matt gemacht sein darf. In der Regel genügt es schon, wenn man die Flamme mit einer gewöhnlichen runden Kugel umgiebt. Noch besser ist es, man bringt zwischen den Spiegel und den Objecttisch eine matt geschliffene Glasplatte; nur ist es nicht gleichgültig für das Resultat, in welchem Grade die Oberfläche matt ist, da hiervon die relative Menge des unregelmässig zerstreuten und des regelmässig durchfallenden Lichts bedingt ist. Man wird deshalb wohl thun, wenn man aus mehreren Glasplatten, die mehr oder weniger matt geschliffen sind, jene aussucht, welche bei desfalsigen Versuchen dem Zwecke am besten zu entsprechen scheint.

Werden diese verschiedenen Vorschriften beobachtet, so kann man alle schädlichen Eigenschaften des künstlichen Lichts beseitigen, jene aber sichern, wodurch ihm ein unbestreitbarer Vorzug vor dem Tageslichte zuerkannt werden muss, nämlich seine grössere Beständigkeit und seine leichtere Regulirung. Es bleibt nur noch übrig, nachzuweisen, dass seinen Strahlen auch die verschiedenen relativen Richtungen verschafft werden können, welche je nach der Art und der verschiedenen Form der Objecte gefordert werden. Die Nähe der Lichtquelle bringt es mit sich, dass die unmittelbar aufgefangenen oder durch den Planspiegel reflectirten Strahlen divergirende sind. Mittelst der oben (§. 205 und 206) beschriebenen Einrichtung können sie convergirend gemacht werden, und offenbar lässt sich der Grad der Divergenz und Convergenz dadurch modificiren, dass man die Linse entfernter oder näher der Concavität des Spiegels stellt. Der nämliche Apparat kann auch dazu benutzt werden, das Gesichtsfeld durch parallele Strahlen zu erleuchten; nur muss dann die Entfernung der Linse von dem Spiegel grösser sein, als die Summe ihrer beiden Brennweiten. Man findet die Stelle für die Linse, wenn man auf einer matt geschliffenen Glasplatte oder auf einem beölten Papiere das Bild der Flamme in der Entfernung auffängt, in der es sich am schärfsten darstellt. Bekommt dann die Linse eine Stellung, bei welcher das Bild der Flamme in ihrem Brennpunkte liegt, dann sind die durch die Linse gehenden Strahlen parallel.

Noch auf eine andere Weise lassen sich die divergirenden Lichtstrahlen in parallele umwandeln, sobald nämlich, wie es bei den meisten

Mikroskopen der Fall ist, die Brennweite des Spiegels grösser ist, als seine Entfernung von dem Objecttische. Man braucht dann nur eine Linse dergestalt vor die Flamme des künstlichen Lichts zu bringen, dass das Flammenbild gerade in den Hauptbrennpunkt des Spiegels kommt, dessen Brennweite man deshalb vorher bestimmt haben muss. Die durch den Hohlspiegel reflectirten Strahlen werden dann (§. 13) parallel sein gleich denen des Tageslichts, die von einem Planspiegel reflectirt werden. Dabei ist es aus leicht begreiflichen Gründen wünschenswerth, dass sich im Brennpunkte des Spiegels ein verkleinertes Bild des künstlichen Lichts befindet, und um nicht genöthigt zu sein, letzteres in zu grosse Entfernung zu bringen, wodurch die Intensität des Lichts abnehmen würde, muss eine Linse mit kurzer Brennweite genommen werden, die aber doch zugleich einen grossen Durchmesser hat, damit ihre Oberfläche viel Licht bekommt. Da es hier aber weniger auf die ganz genaue Form ankommt, so kann dazu auch ganz füglich eine biconvexe gegossene Linse oder ein sogenanntes Ochsenauge genommen werden. Auch eine Glaskugel mit Wasser gefüllt, wie die Schuhmacher zu gebrauchen pflegen, kann hier schon benutzt werden. Wäre es nöthig, so kann man vor die grössere Linse oder Kugel noch eine kleinere Linse bringen, wodurch die Strahlen noch stärker convergirend werden und sich zu einem noch kleineren Bilde vereinigen.

Ein drittes Mittel endlich, um die divergirenden Strahlen des künstlichen Lichts parallel zu machen, besteht darin, dass eine Zerstreuungslinse von passender Brennweite in die Bahn der Strahlen kommt. Zu dem Ende kann man den in Fig. 107 dargestellten Beleuchtungsapparat nehmen, worin aber die Sammellinse *CD* durch eine Zerstreuungslinse ersetzt wird, die so zu stehen kommt, dass der Zerstreuungspunkt sich gerade im Vereinigungspunkte der verlängerten, durch den Hohlspiegel convergirend gemachten Strahlen befindet. Das Gesichtsfeld wird alsdann durch parallele Strahlen beleuchtet werden (§. 46).

Schliesslich erwähne ich noch in Kürze die Benutzung des polari- 213
sirten Lichts bei mikroskopischen Untersuchungen, indem ich in Betreff einer ausführlichern Beschreibung der benutzten Apparate auf das dritte Buch, und hinsichtlich der Theorie der Polarisationserscheinungen selbst auf die Hand- und Lehrbücher der Physik verweise.

Jedes Mikroskop, das einfache wie das zusammengesetzte und das Bildmikroskop, kann ohne grosse Mühe in ein polarisirendes Mikroskop umgewandelt werden, indem man die nämlichen Mittel anwendet, die in allen Polarisationsapparaten, auch ohne Vergrösserung, in Gebrauch sind. Die Auswahl ist hier bekanntlich ziemlich gross. Man kann das Licht auffangen, welches durch ein auf der einen Seite geschwärztes Glas unter einem Winkel von 32° 25 reflectirt wird; oder man kann einen doppelt brechenden Krystall von Kalkspath nehmen, indem man einem der beiden Strahlenbündel den Weg versperrt; ferner ein sogenanntes Nicol'sches

Prisma, welches dergestalt aus einem solchen Kalkspathkrystalle hergestellt wird, dass nur eins von den Strahlenbündeln, welche durch die doppelte Brechung entstehen, durchgelassen, das andere aber reflectirt wird; auch ein Satz Glasplatten, der unter einem Winkel von 35° steht, oder ein Turmalinplättchen, welches der Axe des Krystalles parallel geschliffen ist, können zur Polarisation des Lichtes verwendet werden.

Für die meisten Zwecke ist es ziemlich gleichgültig, welchem von diesen Mitteln man den Vorzug giebt, da sie alle, bei gehöriger Einrichtung, im polarisirenden Vermögen einander ziemlich gleichstehen. Beim Mikroskope kommt aber vor Allem die Lichtmenge in Betracht, die bei der Anwendung verloren geht, und deshalb ist weder der schwarze Spiegel, noch das immer braun oder grün gefärbte Turmalinplättchen hier mit Vortheil zu benutzen. Nur beim einfachen Mikroskope ist man genöthigt, zum letzten Mittel zu greifen, weil durch die übrigen Polarisationsmittel das Feld zu sehr verkleinert wird.

Um nun die von der Polarisation bedingten Erscheinungen sichtbar zu machen, muss erstlich das Gesichtsfeld durch polarisirtes Licht erleuchtet werden, und es muss zweitens dies polarisirte Licht durch ein anderes Polarisationsmittel ins Auge hineingelassen werden. Man hat also auch hier, wie bei jedem anderen Polarisationsapparate, einen Polarisator und einen Analysator. Gesetzt, man giebt für beiderlei dem Nicol'schen Prisma den Vorzug, so muss in einem zusammengesetzten Mikroskope Ein solches Prisma dicht unter die Oeffnung des Objecttisches kommen, so dass dessen Axe mit der optischen Axe des ganzen Instrumentes zusammenfällt. Das zweite Prisma kann dann entweder in das Mikroskoprohr zwischen Objectiv und Ocular oder zwischen das letztere und das Auge kommen. Die letztgenannte Stellung ist aber nicht zu wählen, weil das Gesichtsfeld dadurch sehr verkleinert wird; dieses ist vielmehr am grössten, wenn das zweite Prisma dicht über dem Objectiv steht. Hat man aber ein Nicol'sches Prisma von ziemlich grossem Durchmesser, so kann man dieses auch, ohne zu grosse Verkleinerung des Gesichtsfeldes, unmittelbar unter das Ocular bringen, so dass es mit letzterem vereinigt ist. Dadurch hat man den Vortheil, dass man durch blosses Herumdrehen des Oculars alle Polarisationserscheinungen nach einander beobachten kann. Liegt der Analysator gleich über dem Objectiv, dann muss entweder das ganze Mikroskoprohr sich herumdrehen lassen, oder der Polarisator unter dem Objecttische.

Es ist klar, dass jedes Bildmikroskop auf eine solche Weise in ein polarisirendes Mikroskop sich umwandeln lässt; es ist dazu weiter nichts nöthig, als dass man zwischen den Beleuchtungsapparat und das Object einen Polarisator, und unmittelbar hinter das Objectiv einen Analysator bringt, die um die Axe des ganzen Instrumentes sich drehen lassen.

Stehen die beiden Polarisationsebenen rechtwinkelig auf einander, dann ist das Gesichtsfeld dunkel; sind sie parallel, dann ist es hell.

Wenn man also den Polarisator oder den Analysator um einen Winkel von 90° dreht, dann kann man abwechselnd ein erhelltes und ein dunkeles Feld sehen; in den zwischenliegenden Stellungen aber empfängt dasselbe einen Theil des Lichts. Je dunkeler das Feld in der einen Stellung und je heller es sich in der anderen zeigt, um so vollkommener ist die Polarisation.

Wünscht man nun den Einfluss zu untersuchen, dem das polarisirte Licht unterliegt, wenn es einen durchsichtigen Körper durchsetzt, so wird der letztere auf gewöhnliche Weise auf den Objecttisch gelegt. Ist das Gesichtsfeld vorher verdunkelt worden, so dass keine Lichtstrahlen ins Auge gelangen, und man bringt jetzt ein Object in die Bahn der Strahlen, z. B. einen zweiaxigen Krystall, der die Eigenschaft hat, das Licht zu depolarisiren, so wird dasselbe auf schwarzem Grunde beleuchtet sich darstellen. Da aber diese Eigenschaft nicht in gleichem Maasse bei allen farbigen Strahlen wirksam ist, und zugleich auch die Dicke des Objects mit in Betracht kommt, so sieht man dasselbe nicht weiss, sondern gefärbt. Die Farbe ändert sich, wenn der Polarisator oder der Analysator gedreht wird; die verschiedenen Farben, aus denen das weisse Licht besteht, folgen geregelt auf einander, und wenn beide Polarisationsflächen parallel sind, das Gesichtsfeld also hell ist, dann hat das Object die complementäre Farbe zu jener, die es zeigte, als das Gesichtsfeld schwarz war.

Hat das Object eine andere Dicke, dann ist auch bei der nämlichen relativen Stellung des Polarisators und Analysators seine Farbe eine andere. Daher kommt es, dass, wenn Krystalle, welche das Licht depolarisiren, während der Beobachtung an Grösse zunehmen, z. B. durch Verdunstung der Flüssigkeit, worin sie aufgelöst waren, ihre Farbe sich auch verändert, und dass, wenn man eine Anzahl Krystalle der nämlichen Substanz gleichzeitig durch das polarisirende Mikroskop betrachtet, verschiedene Farbenschattirungen an derselben wahrzunehmen sind. Es kann selbst vorkommen, dass einem Krystalle oder einem anderen Körper das depolarisirende Vermögen abgeht, blos weil derselbe zu dünn ist. Für diesen Fall giebt Chevalier (a. a. O. S. 151) den Rath, den Krystall auf ein Glimmerblättchen zu legen. Das Glimmerblättchen erscheint dann, je nach seiner Dicke, verschiedenartig aber gleichmässig gefärbt, und das darauf liegende Object hat eine andere Farbe, weshalb es eben sichtbar wird.

Manchmal wird auch die Lage des Objects nicht der Art sein, dass die Depolarisation dadurch gefördert wird; wenn daher die Beschaffenheit des Objects es zulässt, so muss man dasselbe in verschiedene Lagen zu bringen suchen. So können in einem Tropfen eine Anzahl kleine Krystalle der nämlichen Substanz vorhanden sein, von denen einige das Licht depolarisiren und sich gefärbt darstellen, andere dagegen nicht. Erzeugt man nun eine Strömung in der Flüssigkeit, so dass die Krystalle sich herumwälzen und abwechselnd verschiedene Flächen dem polarisirten

Lichte darbieten, so wird man sie bald gefärbt, bald wieder ungefärbt wahrnehmen; ist daher das Gesichtsfeld schwarz, so verschwinden sie jetzt und kommen dann wiederum zum Vorschein.

Die Einwirkung der Körper auf den polarisirten Lichtstrahl zählt sicherlich zu den interessantesten Erkennungsmitteln ihrer elementaren Zusammensetzung. Nicht blos Krystalle, auch mehrere organische Substanzen, pflanzliche wie thierische, üben diese Einwirkung aus. Ich habe schon früher (§. 97) angeführt, dass die ganz durchsichtigen Körper bei durchfallendem Lichte nur deshalb uns sichtbar werden, weil die Lichtstrahlen entweder gebrochen, oder reflectirt, oder theilweise absorbirt werden. Es kann nun recht gut der Fall eintreten, dass die einander zunächst gelegenen Theile eines Objects auf diese Weise nicht mehr als von einander verschieden erkannt werden können, weil sie im Brechungs-, Reflexions- und Absorptionsvermögen einander ganz gleich sind; wenn aber ihre Einwirkung auf das polarisirte Licht verschiedenartig ist, so kann dann hierdurch ihre Zusammensetzung aus besonderen Bestandtheilen sich kund geben.

214 Bei mikroskopischen Untersuchungen entbehren wir manche von den Hülfsmitteln, die uns bei anderen Untersuchungen zu Gebote stehen. Von den verschiedenen Sinnesorganen, deren Zusammenwirken so gewichtig ist, um uns von den Dingen ausser uns eine klare und richtige Vorstellung zu verschaffen, bleibt uns hier nur der Gesichtssinn übrig, und wenn irgendwo, so ist es hier deshalb nöthig, die Gesichtsvorstellung so vollkommen als möglich zu machen, indem man eine grosse Anzahl auf verschiedene Weise empfangene Gesichtseindrücke vereinigt. Ein Beobachter, der einen Gegenstand nur in Einem besondern Zustande der Beleuchtung durch ein Mikroskop geschaut hat, besitzt davon eine gleich unvollständige Vorstellung, wie ein durchziehender Reisender von einer schönen Landschaft, auf die er blos im Vorbeigehen einen Blick geworfen hat, und in der sich, je nachdem sie von der Morgen- oder Abendsonne beschienen, oder durch die Mittagssonne im vollen Glanze bestrahlt wird, oder aber mit schwarzem Gewölk bedeckt ist, abwechselnde neue Schönheiten dem Auge darstellen.

Eine gute Benutzung des Beleuchtungsapparats ist gewiss eins der besten Merkmale, um den geübten mikroskopischen Beobachter vom weniger geübten unterscheiden zu können. Während der letztere, weil er die stärkste Beleuchtung auch für die beste hält, bis zum Thränen in einem See von Licht arbeitet, worin alle feineren Einzelnheiten des Bildes gleichsam ertränkt sind, wird jener dagegen das Licht soviel zu mässigen suchen, als es die Art des Objects verlangt: er wird abwechselnd parallele, convergirende oder divergirende Strahlen einwirken lassen, und nachdem er es zuerst bei centrischer Beleuchtung betrachtet hat, wird er erforschen, welchen Einfluss ein schief einfallendes Licht übt. Auch wird er sich nicht auf die Untersuchung bei durchfallendem Lichte beschrän-

ken, sondern auch auffallendes Licht anwenden, selbst bei durchsichtigen Objecten, da er hierdurch Gelegenheit bekommt, einige Einzelnheiten besser zu sehen und ihre nähere Beschaffenheit zu erkennen. So wird er dann, namentlich bei schief auffallendem Lichte, Vertiefungen und Erhöhungen an der Richtung der Schatten sicherer von einander unterscheiden können; auch wird er dann nicht Gefahr laufen, kleine Luftblasen oder Fettkügelchen für eine schwarze undurchsichtige Substanz, verästelte Pigmentzellen für Knochenkörperchen zu halten.

Endlich wird er, nachdem er die gewöhnlichen Beleuchtungsarten alle durchgenommen hat, manchmal noch ein grosses Hülfsmittel im polarisirten Lichte finden, um in die innerste Bildung des Körper einzudringen und Verschiedenheiten zur Ansicht zu bringen, die auf keine andere Weise sich erkennen lassen.

Sich stützend auf die Kenntniss der ewigen Gesetze, denen das Licht gehorcht, und von dessen Strahlen gleichsam Gebrauch machend zur Zergliederung der Körper, da wo ihn das Skalpel im Stiche lässt, hat der Beobachter auf diese Weise von einem und demselben Objecte eine Reihe von Gesichtseindrücken bekommen. Jeder von diesen Eindrücken kann an sich selbst vollkommen richtig sein, aber doch zu einer ganz falschen Vorstellung von der Beschaffenheit des Objects Veranlassung geben; werden aber alle Eindrücke, die zum Bewusstsein gelangt sind, durch den Verstand geordnet, unter einander verglichen und zu einem zusammenhängenden Ganzen verbunden, dann darf er mit gutem Grunde hoffen, dass das Endresultat der Untersuchung wirklich Wahrheit ist. Umfasst es aber noch nicht die ganze Wahrheit, so darf er sich doch wenigstens das Zeugniss geben, eifrig darnach gestrebt und die Hülfsmittel erschöpft zu haben, welche der gegenwärtige Stand der Wissenschaft darbietet.

Neuntes Kapitel.

Die Vergrösserung der Mikroskope im Allgemeinen und die Mittel, dieselbe zu bestimmen.

215 Schon mehrmals (§§. 112, 148, 153) war von der Vergrösserung der Mikroskope die Rede und von den Mitteln, dieselbe aus den Brennweiten der Linsen und der mittleren Sehweite zu berechnen. Das geschah aber mehr in der Absicht, die Wirkungsweise der verschiedenen Mikroskoparten aufzuklären, als weil etwa diese Methoden die empfehlenswerthesten wären; denn obwohl sie bei gehöriger Genauigkeit genaue Resultate liefern, so sind doch andere Methoden, durch welche die Vergrösserung auf mehr directe Weise bestimmt wird, leichter ausführbar und mindestens gleich genau. Diese wollen wir deshalb hier ausdrücklich betrachten, namentlich in soweit es sich um die Vergrösserung der einfachen und der zusammengesetzten Mikroskope handelt; denn für Bildmikroskope ist der einzige directe Weg der im §. 131 angegebene.

Zuvörderst muss ich aber den Leser wiederum an das bereits (§§. 112 und 148) Gesagte erinnern, dass die Vergrösserung eines Mikroskops niemals eine absolute, sondern immer nur eine relative ist, dass also das nämliche Mikroskop für das Auge eines Beobachters stärker vergrössernd ist, als für das Auge eines anderen, weil nämlich die Entfernung, in welche man die Objecte zu bringen pflegt, die deutlich gesehen werden sollen, keineswegs für alle Individuen die nämliche ist. Selbst wenn man die Grösse der Netzhautbildchen im Vergleich zur Grösse der Objecte zur Berechnung der Vergrösserung benutzen wollte, würde sich doch noch (§. 148) für jedes Auge eine Verschiedenartigkeit herausstellen.

Es wird aber nicht unpassend sein, wenn über diesen Punkt hier noch Einiges angeführt wird, und wenn die Vergrösserungskraft der Mikroskope im Zusammenhange mit der physiologischen Beschaffenheit des Auges betrachtet wird.

216 Sieht man durch eine Linse oder ein zusammengesetztes Mikroskop auf einen Gegenstand, so projicirt man das wahrgenommene Scheinbild auf eine Fläche, die sich in einer bestimmten Entfernung vom Auge befindet. Hierzu ist also erforderlich, dass der Accommodationszustand des Auges der Art ist, wie er sein würde, wenn das Auge auf der Netzhaut ein scharfes Bild von Objecten erzeugte, die sich wirklich in solcher Entfernung befänden.

Während der Beobachtung durch ein Mikroskop ist aber das Auge durchaus nicht ein ganz passives Instrument, gleichsam ein Schirm, der nur die Bilder auffängt; vielmehr kann sein Accommodationsvermögen

eben so wirksam sein, wie beim gewöhnlichen Sehen, und folglich ist auch die Entfernung der Fläche, auf welche das Scheinbild projicirt wird, gleich dem Accommodationszustande selbst veränderlich. Hieraus folgt ferner, dass der nämliche Beobachter durch das nämliche Mikroskop die Objecte jetzt stärker und dann wieder schwächer vergrössert wahrnehmen kann, je nach dem Accommodationszustande des Auges im Augenblicke der Beobachtung.

Dass dem so sei, davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man Jemand, der ein gutes Gesicht hat, aber selten durchs Mikroskop sieht, das nämliche Object zu verschiedenen Zeit im Mikroskope sehen lässt. Vergleicht er dessen Grösse mit einem ihm bekannten Maasse, so werden seine Angaben nicht selten gar sehr unter einander differiren. So ersuchte ich Jemand, der gut zeichnet, auf einem Papiere die Grösse der Felder eines Glasmikrometers zu zeichnen, wie ihm dieselben im Felde des Mikroskops zu verschiedenen Zeiten sich darstellten. Bei einer 36maligen und einer 302maligen Vergrösserung und einer mittleren Sehweite von 25 Centimeter ergab sich Folgendes:

a. Wahrer Durchmesser der Felder = $^1/_{50}$ engl. Zoll oder $0{,}508^{mm}$ Durchmesser der gezeichneten Felder = 4,5 bis 6,7 bis 8,5 und $11{,}5^{mm}$.

b. Wahrer Durchmesser der Felder = $^1/_{500}$ engl. Zoll oder $0{,}0508^{mm}$; Durchmesser der gezeichneten Felder = 5,2 bis 7 bis 9,6 und 11^{mm}.

So ist also die sogenannte mittlere Sehweite nicht blos für verschiedene Augen verschieden, auch für das nämliche Auge bleibt sie nicht unveränderlich (§. 67); und wie das Accommodationsvermögen des Auges sich zwischen bestimmten Grenzen bewegt, so gilt dies auch für das Vergrösserungsvermögen eines Mikroskops bei einem und demselben Auge. Ist ein Object in der gehörigen Entfernung unter das Mikroskop gebracht worden, so dass man dasselbe vollkommen deutlich sieht, und man blickt dann auf ein sehr entferntes Object, zu dessen Wahrnehmung sich das Auge für Strahlen accommodiren muss, die fast parallel sind, so wird man, wenn man unmittelbar darauf wieder durchs Mikroskop sieht, das Object zuerst viel undeutlicher wahrnehmen als früherhin, weil die aus dem Mikroskope kommenden Strahlen zu divergirend sind, als dass sie sich auf der Netzhaut zu einem scharfen Bilde sollten vereinigen können. Nach einiger Zeit wird aber das Auge wiederum in den früheren Zustand zurückgekehrt sein und ein scharfes Bild sich darstellen. Das Umgekehrte kann aber auch stattfinden, dass man nämlich, indem man die Entfernung des Objectes in etwas verändert, auch in dem Grade der Divergenz, mit welcher die Strahlen das Mikroskop verlassen, einige Veränderung bewirkt, und so mit dem temporären Accommodationszustande des Auges einen Einklang bewirkt.

Das Auge und das Mikroskop machen also zusammen ein Ganzes aus, dessen Verband nicht gestört wird, wenn einer der zusammensetzen-

den Theile kleine Veränderungen erfährt, sobald nur eine entsprechende Veränderung im andern eintritt.

Die Frage, ob es für jedes Auge eine bestimmte mittlere Sehweite und also auch ein bestimmtes Vergrösserungsvermögen des Mikroskops giebt, kann darum in dieser Allgemeinheit nur verneinend beantwortet werden. Etwas anders muss aber die Antwort ausfallen, wenn man dabei auf die Personen selbst Rücksicht nimmt, die das Mikroskop gebrauchen. Von Jugend auf sind diese gewohnt, beim Lesen oder beim Schreiben oder bei feinen Handarbeiten die Gegenstände, die sie genau sehen wollen, in eine gewisse Entfernung vom Auge zu halten; ist auch diese Entfernung keine genau bestimmte, so schwankt sie doch nur innerhalb enger Grenzen. Dieser Entfernung der Objecte hat sich ihr Auge am leichtesten accommodirt, und durch Gewohnheit ist sie ihm die natürlichste geworden. Befindet sich das Auge in der Ruhe, ist es z. B. geschlossen oder sieht es in einen leeren Raum, dann hat es diesen Accommodationszustand. Blickt nun ein solches Auge durch ein Mikroskop, ohne dass sich ein Object in passender Entfernung von der Linse befindet, so ist das Gesichtsfeld für dasselbe anfänglich auch ein leerer Raum; das Auge wird also im Zustande der Ruhe verharren, und das Accommodationsvermögen wird weder für eine weitere noch für eine kürzere Entfernung angestrengt werden. Wird dann das Object allmälig der Linse genähert, so wird Jener, der nicht gerade gewohnt ist, durch ein Mikroskop zu sehen, das Accommodationsvermögen, ohne sich dessen bewusst zu sein, wirken lassen, und die Folge wird sein, dass er das Scheinbild einmal in dieser, ein anderes Mal in jener Entfernung und dabei in verschiedener Vergrösserung zu sehen glaubt. Bei einem, der an mikroskopisches Sehen gewöhnt ist, bleibt dagegen das Accommodationsvermögen auch während der Annäherung des Objects in der Regel ganz passiv; das Auge wartet gleichsam, bis die Strahlen jenen Grad von Divergenz erlangt haben, mit der sie von Objecten kommen, die sich in seiner gewöhnlichen mittleren Sehweite befinden. Daher kommt es, dass für den geübten mikroskopischen Beobachter das Vergrösserungsvermögen andauernd fast das nämliche bleibt.

Aus dieser Betrachtung ergiebt sich auch, dass man bei der Berechnung der Vergrösserung nicht von der Entfernung des Nähepunktes des Auges (§. 68) ausgehen darf, wie Manche (Goring, Brewster) gewollt haben; denn ist das Auge für Gegenstände in dieser Entfernung accommodirt, so befindet es sich nicht in Ruhe, sondern in einem Zustande wirklicher Spannung, die nicht lange anhalten kann.

Es ist aber möglich und sogar wahrscheinlich, dass bei sehr schwierigen mikroskopischen Untersuchungen das Auge sich vorübergehend auch für eine geringere Entfernung als die gewöhnliche accommodirt, wodurch die Netzhautbildchen etwas grösser werden und folglich noch Einzelnheiten zur Beobachtung gelangen können, die dem Auge beim gewöhnlichen Accommodationszustande entgehen. Wahrscheinlich rührt es

davon her, dass sogar Jemand, der täglich einige Stunden auf mikroskopische Untersuchungen verwendet, ohne dadurch eine Ermüdung des Auges zu empfinden, alsdann, wenn es sich um die Untersuchung ganz kleiner Objecte handelt, die an den äussersten Grenzen der Sichtbarkeit befindlich sind, nach einiger Zeit eine unangenehme, manchmal selbst schmerzhafte Spannung im Auge empfindet, die zur Unterbrechung der Untersuchung nöthigt.

Stellen wir also den Satz auf, dass beim Berechnen des Vergrösserungsvermögens der Mikroskope von der gewöhnlichen mittleren Sehweite ausgegangen werden muss, so ergiebt sich doch zugleich, dass man, indem man das Sehvermögen des blossen Auges mit jenem des Mikroskops vergleicht, nicht vergessen darf, wie das Gebiet beider zum Theil zusammenfällt. Gesetzt, ein Auge mit einer mittleren Sehweite von 200^{mm} und einem Nähepunkte von 100^{mm} sieht durch eine Linse, welche für die genannte mittlere Sehweite zweimal vergrössert, so wird der nämliche Beobachter, auch ohne die Linse, den nämlichen Gegenstand mit gleicher Deutlichkeit zweimal grösser sehen, wenn er denselben auf 100^{mm} von seinem Auge hält. Es ist nur der Unterschied, dass er im erstern Falle mit Bequemlichkeit und ohne alle Anstrengung den Gegenstand sieht, während er im zweiten Falle genöthigt ist, sein Auge in einen ungewöhnlichen Zustand zu versetzen: in beiden Fällen ist aber der Grad der Divergenz der nämliche, mit welcher die Strahlen ins Auge treten.

Wenn nun auch von einer genau bestimmten Vergrösserung eines 217
Mikroskops nicht die Rede sein kann, so ist es doch wünschenswerth, dass man in Zahlen nach einem gewissen Maasse ausdrücken könne, wie eine Linse oder eine Vereinigung von Linsen das Vermögen des Auges steigert, kleinere Körper wahrzunehmen, die man mit blossem Auge nicht sieht. Bei einfachen Linsen hat man diesen Maassstab in der Brennweite; bei Doublets und Triplets würde die Brennweite der äquivalenten Linse (§. 125) dazu benutzt werden können. Beim zusammengesetzten Mikroskope lässt sich die Vergrösserung ebenfalls durch die Brennweite einer äquivalenten Linse ausdrücken, die man durch Berechnung oder durch directe Bestimmung auffinden kann, wenn man nach Goring (*Micrographia* p. 68) das zusammengesetzte Mikroskop als Ocular eines Teleskops gebraucht und mit Hülfe eines Dynameters die Vergrösserung in der Weise bestimmt, wie dies weiter oben (§. 115) für eine einzelne Linse angegeben worden ist.

Der Maassstab, den die Brennweite abgiebt, ist jedoch bei weitem nicht so zuverlässig, als es auf den ersten Blick vielleicht scheinen mag. Er würde es nur alsdann sein, wenn beim Sehen durch eine und dieselbe Linse in jedem Auge scharfe Netzhautbildchen von gleicher Grösse entständen. Differirte dann auch die relative Vergrösserung, weil ein Beobachter von den nämlichen Körpern kleinere Netzhautbildchen wahrzunehmen pflegt, als ein anderer, so würde doch die absolute Vergrösserung, jene

der Netzhautbildchen nämlich, durch eine bestimmte Zahl sich ausdrücken lassen. Eine solche Gleichheit in der Grösse der Netzhautbildchen findet aber, wie wir bereits gesehen haben, nicht statt. Im Gegentheil mindert sich die absolute Vergrösserung in dem Maasse, als die relative zunimmt, und umgekehrt. Wenn man daher die Vergrösserung eines Mikroskops durch die Brennweite ausdrückt, so ist man immer noch genöthigt, für jedes Auge im Besonderen zu berechnen, wie die Vergrösserung für dasselbe unter bestimmten Umständen sich verhält.

218 Untersuchen wir jetzt, ob das gewöhnlich befolgte Verfahren, wornach die Vergrösserung nach der allgemein festgesetzten mittleren Sehweite berechnet wird, besser zum Ziele führt.

Hier stossen wir sogleich auf eine Schwierigkeit, deren Beseitigung sehr wünschenswerth wäre, weil viele Verwirrung dadurch entsteht; es fragt sich nämlich, welcher Augenabstand als allgemeine mittlere Sehweite angenommen werden soll? Darüber herrscht noch immer viel Willkür: einige wollen die Vergrösserung für einen Augenabstand von 5 englischen Zollen berechnet haben, andere setzen 8 rheinische Zolle, noch andere 10 Pariser Zolle dafür fest, und endlich werden von noch anderen 25 Centimeter angenommen. Mir ist sogar einmal der Fall vorgekommen, dass die Vergrösserungen eines horizontal gestellten Mikroskops für eine mittlere Sehweite von 37 Centimeter berechnet waren, weil dies die zufällige Höhe des Rohrs über der Tafel war!

Selbstverständlich übt diese Verschiedenheit einen sehr bedeutenden Einfluss auf die Vergrösserungsziffer, da diese in gleichem Verhältniss grösser wird, als die Entfernung der Ebene zunimmt, auf welche das Bild projicirt wird. Eine Vergrösserung, die für eine mittlere Sehweite von 5 englischen Zollen eine 300malige wäre, ist ungefähr eine 900malige, wenn die Sehweite zu 37 Centimeter angenommen wird.

Ist nun auch die letztgenannte Entfernung sicherlich eine viel zu grosse, und muss andererseits die erstere als zu klein bezeichnet werden, um als allgemeiner Maassstab zu gelten, so ist doch kein genügender Grund vorhanden, um zwischen den übrigen gebräuchlichen Vergrösserungen eine entscheidende Wahl zu treffen, da sich die Ziffer der mittleren Sehweite unmöglich mit Bestimmtheit angeben lässt. Auch ist es ziemlich gleichgültig, welchen Augenabstand man wählt, wenn nur bei Angabe der Vergrösserung niemals versäumt wird, denselben anzuführen. Vielleicht verdient die Sehweite von 25 Centimeter den Vorzug wegen der Beziehung zum metrischen Maasse, welches doch früher oder später wahrscheinlich alle anderen Maasse verdrängen wird. Aus diesem Grunde habe ich mich bisher an diese Sehweite gehalten, und auch weiterhin werde ich die Vergrösserungen für diese Entfernung berechnen. Uebrigens lässt sich aus der Vergrösserung für eine bestimmte mittlere Sehweite leicht die Vergrösserung für eine andere Sehweite herleiten; die Vergrösserungsziffern verhalten sich nämlich zu einander wie die

Sehweiten. Für eine doppelte Sehweite ist die Vergrösserung auch doppelt so gross. Eine 350malige Vergrösserung für eine Sehweite von 25 Centimeter ist für eine Sehweite von 20 Centimeter $= \frac{350 . 20}{25} = 280$ Male. Zur Bequemlichkeit des Lesers füge ich hier noch die Vergrösserungen für die verschiedenen zur Berechnung benutzten Sehweiten in folgender Tafel bei:

25 Centimeter.	5 englische Zoll oder 12,7 Centimeter.	8 rheinische Zoll oder 20,9 Centimeter.	10 Pariser Zoll oder 27,1 Centimeter.
1000	508	836	1084
950	483	794	1030
900	457	752	976
850	432	711	919
800	406	669	865
750	381	627	813
700	356	585	759
650	330	553	704
600	305	502	650
550	279	460	596
500	254	418	542
450	223	376	488
400	203	334	434
350	179	293	379
300	152	251	325
250	127	209	271
200	102	167	217
150	76	125	163
100	51	84	108
75	38	63	81
50	25	42	54
25	13	21	27
10	5	8	11

Noch Ein Punkt darf aber nicht aus den Augen gelassen werden, dass nämlich die Vergrösserungsziffern, wenn sie auch für eine und dieselbe mittlere Sehweite berechnet sind, streng genommen doch nur für das Auge desjenigen, der die Bestimmung ausführte, vollkommen gültig sind. Es folgt dies schon aus demjenigen, was oben (S. 94 Note) über die Wirkung des einfachen Mikroskops bei verschiedenen Augen angege-

ben worden ist, und was eben so gut auf jede Combination von Linsen passt, also auf das zusammengesetzte Mikroskop. Wo es demnach auf eine sehr genaue Kenntniss des Vergrösserungsvermögens eines Mikroskops ankommt, z. B. bei den verschiedenen mikrometrischen Methoden, da muss jeder Beobachter dasselbe für sein Auge bestimmen.

219 Wenden wir uns zu den Methoden selbst, deren man sich zur Bestimmung der vergrössernden Kraft der Mikroskope bedienen kann. Alle kommen darin überein, dass sie auf der Vergleichung zwischen der Grösse des auf die Entfernung der allgemeinen Sehweite projicirten Scheinbildes und der Grösse des bildliefernden Objectes, z. B. einer Mikrometertheilung, beruhen.

Der Mittel zur Projection des Scheinbildes ist in einem früheren Kapitel (§. 179) Erwähnung geschehen, und es ist ziemlich gleichgültig, welchen von diesen Mitteln man den Vorzug giebt. Wer sich im Doppeltsehen (§. 185) hinlängliche Fertigkeit erworben hat, der kann jedoch die verschiedenen hierzu bestimmten Instrumente entbehren, da diese Methode bei weitem am einfachsten ist und vor den übrigen Projectionsmitteln den Vorzug hat, dass das Bild unmittelbar ohne Reflexion und Lichtverlust gemessen wird; daher sie auch noch bei den stärksten Vergrösserungen anwendbar ist, wo die Camera lucida, das Sömmerring'sche Spiegelchen u. s. w. nicht ausreichen. Was Genauigkeit betrifft, so steht das Doppeltsehen keiner dieser Methoden nach, wenn nur hinlängliche Uebung vorausgegangen ist.

Um die Vergrösserung mit Genauigkeit bestimmen zu können, müssen einige Dinge in Obacht genommen werden, die wir der Reihe nach betrachten wollen.

Zuvörderst fragt es sich, welches Object von bekannter Grösse dazu benutzt werden soll. Diese Frage scheint leicht beantwortet werden zu können, und doch liegt ein erschwerender Umstand darin, dass die Glas- und Schraubenmikrometer, welche aus verschiedenen Werkstätten kommen, bei weitem nicht genau übereinstimmende Maasse angeben. Ich habe darüber ausführlicher in meinen *Recherches micrométriques* p. 7 gesprochen und werde später, wenn vom Messen mikroskopischer Objecte gehandelt wird, näher darauf zurückkommen; dort wird sich herausstellen, dass man in dieser Beziehung gar viele Verschiedenheiten antrifft, die von einem wesentlichen Einflusse auf die Vergrösserungsziffern sein müssen. Diese Zahlen werden nämlich um so grösser ausfallen, je kleiner der absolute Werth der gebrauchten Mikrometertheilung ist. Wenn z. B. die Maasseinheiten zweier Mikrometer sich wie 10 : 11 verhalten (und solche Differenzen kommen in der Wirklichkeit vor), so wird eine Vergrösserung von 400 Malen am ersten Mikrometer, für das zweite, bei der nämlichen Sehweite, eine 440fache sein. Jede Reihe von Grössenbestimmungen, wobei eine bestimmte mikrometrische Theilung zu Grunde gelegt ist, kann demnach nur für das zur

Bestimmung benutzte Mikrometer als richtig anerkannt werden. Bei Glasmikrometern, welche aus der nämlichen Werkstätte kommen, und von denen man also annehmen darf, dass sie mit der nämlichen Theilmaschine angefertigt worden sind, darf man einen Schritt weiter gehen und annehmen, dass der absolute Werth des Maasses immer der gleiche ist. Man darf sich dann etwas allgemeiner ausdrücken, und von einer Vergrösserung in Millimetern nach Oberhäuser, in Wiener Zollen nach Plössl, oder in englischen Zollen nach Dollond u. s. w. reden.

Auch sind die Theilungen eines und desselben Mikrometers unter einander niemals vollkommen gleich. Dies ist namentlich bei Glasmikrometern der Fall, und deshalb ist es durchaus erforderlich, dass man nach einander die Scheinbilder einer gewissen Anzahl dieser Theilungen misst, um einen Mittelwerth zu bekommen, welcher der Wahrheit näher kommt. Um so mehr ist dieses nöthig, je weiter die Vergrösserung geht, weil man dann genöthigt ist, auch kleinere Theilungen zu messen.

Bei einem guten Schraubenmikrometer fällt der Unterschied in den mit verschiedenen Theilen der Schraube genommenen Maassen im Allgemeinen geringer aus, und ein Object, dessen Durchmesser vorher mit grosser Genauigkeit dadurch bestimmt wurde, z. B. der Abstand zwischen zwei Streifchen eines Glasmikrometers, kann weiterhin ganz zweckmässig benutzt werden, um die Vergrösserung zu ermitteln.

Beim Gebrauche eines Glasmikrometers hat man ferner auch auf die Dicke der mit dem Diamant gezogenen Striche Rücksicht zu nehmen. Bei guten Glasmikrometern ist diese Dicke allerdings unbedeutend, doch immer noch ansehnlich genug, dass sie bei etwas stärkeren Vergrösserungen nicht vernachlässigt werden darf. Die Mitte jedes Striches bezeichnet eigentlich die wahre Stelle, wo jede neue Abtheilung anfängt; beim wirklichen Messen ist es aber gerathener, die Ränder der Striche als Anfangspunkte zu betrachten, wenn man nur, wie es sich von selbst versteht, immer den nämlichen Rand dazu nimmt, sei es der rechte oder sei es der linke.

Aus dem einen und dem anderen ergiebt sich, dass es seine eigenen Bedenken hat, wenn man die stattfindende Vergrösserung durch die Theilungen von Glas- oder Schraubenmikrometern bestimmt; wo es daher auf eine grosse Genauigkeit ankommt, da wäre es wünschenswerth, ein anderes Mittel ausfindig zu machen, das besser zu dem vorgesteckten Ziele führt. Dieses Mittel besteht darin, dass man einen dünnen Metalldraht viele Male (einige hundert Male) um einen dickeren Draht windet, dergestalt, dass jede Windung genau an der vorhergehenden anliegt, wovon man sich mittelst des Mikroskops überzeugen muss. Nun misst man genau, welche Länge die von den gesammten Windungen eingenommene Strecke hat und zählt die Anzahl der Windungen, am besten durch Abwickeln auf der Drehbank. Man erhält dann die Dicke des Drahtes, wenn man die Gesammtlänge der an einander liegenden Windungen durch die Anzahl dieser Windungen dividirt. Ist man hierbei mit aller Sorgfalt

verfahren, so kann man sich dadurch einen bestimmten Maassstab verschaffen, der mit grösserer Zuverlässigkeit als irgend eine andere Mikrometertheilung zur Bestimmung des Vergrösserungsvermögens benutzt werden kann. Belegende Beispiele dafür werde ich späterhin mittheilen.

Zu einer genauen Bestimmung der Vergrösserung ist dann zweitens nöthig, dass man auf die verschiedenartige Vergrösserung in der Mitte und an den Rändern des Gesichtsfeldes Rücksicht nimmt, welche Grössendifferenz durch die Krümmung des Bildes bedingt wird. Im einfachen Mikroskope ist diese Krümmung stets zugegen (§. 109), und sie lässt sich niemals vollständig beseitigen. Im zusammengesetzten Mikroskope ist dies zwar möglich durch ein richtiges Verhältniss zwischen dem Collectivglase und dem Augenglase (§. 152), dieses Verhältniss ist aber keineswegs auch immer das beste, um die Aberrationen auf die vollkommenste Weise zu verbessern, und da die letzgenannte Verbesserung wichtiger ist, als die Erlangung eines ganz ebenen Gesichtsfeldes, so wird dieses letztere oftmals der grösseren Schärfe des Bildes in der Mitte des Gesichtsfeldes zum Opfer gebracht. Fast immer ist dann auch hier die Vergrösserung am geringsten, und nach den Rändern hin nimmt sie allmälig zu.

Bei der Bestimmung der vergrössernden Kraft muss man daher hierauf Rücksicht nehmen und die Messungen nur an jenen Theilen des Bildes vornehmen, die sich nicht zu weit ausserhalb des Mittelpunktes des Gesichtsfeldes befinden. Hat man ein Ocular von Huygens, so kann man der Sicherheit wegen auf das Diaphragma, welches zwischen beiden Gläsern befindlich ist, einen Ring legen, der das Feld bis zur gewünschten Grösse verkleinert.

Drittens ist sorgfältig darauf zu achten, dass die Entfernung des Auges von der Fläche, auf welche das Scheinbild projicirt wird, immer genau gleich sei und gleich bleibe der Sehweite, die als die allgemeine angenommen worden ist. Es kann aber geschehen, dass die Einrichtung des Instrumentes nicht erlaubt, das Scheinbild gerade in dieser Entfernung zu messen. So wird z. B. in vielen Fällen die Entfernung vom Objecttische bis an die obere Fläche des Oculars kleiner sein als die mittlere Sehweite, und man wird dann einen zu geringen Durchmesser erhalten, wenn man durch Doppeltsehen das auf den Objecttisch projicirte Bild misst. Man kann denselben aber dann leicht auf jenen Durchmesser reduciren (§. 218), den das Bild gehabt haben würde, wenn die Oberfläche des Objecttisches sich genau in der Sehweiteentfernung befunden hätte. Für mikrometrische Zwecke ist es auch wünschenswerth, dass man die Vergrösserungen kennt, welche, ohne dass man auf die Sehweiteentfernung Rücksicht nimmt, dem Abstande des Objecttisches oder des Tisches, worauf das Mikroskop steht, entsprechen.

Viertens muss das Auge während des Messens möglichst unbeweglich gehalten werden; denn wenn sich das Auge um seine Queraxe bewegt, so ändert sich auch die Stelle des Scheinbildes.

Fünftens endlich ist es durchaus nicht gleichgültig, auf welche Weise die Messung ausgeführt wird. In der Regel empfiehlt man, das Scheinbild auf einem getheilten Maassstabe aufzufangen, und verlangt man die Vergrösserung nur nahezu kennen zu lernen, dann kann man sich damit begnügen. Bei einer nur einigermaassen genauen Bestimmung dagegen muss man einen Cirkel benutzen, dessen Spitzen fein genug sind, um auch Theile eines Millimeters damit messen zu können. Gewöhnlich benutze ich dazu einen Doppelcirkel, dessen lange Schenkel das mit den kurzen gefundene Maass verfünffachen. Ein guter gewöhnlicher Cirkel ist aber auch brauchbar, wenn man nur weiterhin das Maass mit Hülfe einer gehörig feinen Scala ermittelt, auf der z. B. noch Zehntheile des Millimeters angegeben sind. Hat man keine solche Scala, so kann man dadurch zum Ziele kommen, dass man auf einem Papiere eine gerade Linie zieht und auf diese das gefundene Maass zehnmal überträgt. Der zehnte Theil der Gesammtlänge ist dann natürlich das gesuchte Maass.

Benutzt man zur Projection eins von den katoptrischen Hülfsmitteln, dann hat man nicht nöthig, das Bild direct mit dem Cirkel zu messen; bequemer ist es dann, dasselbe auf einer Schiefertafel aufzufangen, und seine Begrenzungen mit der feinen Spitze eines Griffels darauf zu zeichnen. Eine Anzahl solcher aufgezeichneter Maasse kann weiterhin nach einander mit dem Cirkel bestimmt werden, und daraus lässt sich dann der mittlere Werth herausfinden.

Hat man auf die vorher angeführte Weise das Feld eines zusammengesetzten Mikroskops mittelst eines in das Ocular eingesetzten Ringes verkleinert, so kann man auch den Durchmesser des Scheinbildes dieses Feldes messen und dann zählen, wie viele Abtheilungen eines Mikrometers darin enthalten sind. Dieses Verfahren ist aber weniger genau, als wenn man das Scheinbild des als Maassstab benutzten Objectes selbst direct misst, weil der Rand des Feldes natürlich nicht allemal genau auf die Grenze einer Mikrometertheilung fällt.

In einem zusammengesetzten Mikroskope ist die Vergrösserung 220
gleich dem Producte, welches erhalten wird, wenn man die Zahl der Objectivsysteme mit jener der Oculare multiplicirt. Es ist aber nicht nöthig, dass man diese Vergrösserungen alle einzeln bestimmt; kennt man die Vergrösserungswerthe eines einzelnen Objectivsystems mit den verschiedenen Ocularen, und jene eines einzelnen Oculars mit den verschiedenen Objectivsystemen, dann lassen sich die Vergrösserungswerthe der übrigen Combinationen leichter durch Rechnung auffinden.

Gesetzt, man will die Vergrösserungen eines Mikroskops mit sechs Objectivsystemen und vier Ocularen kennen. Es giebt dann vierundzwanzig verschiedene Vergrösserungen. Doch braucht man nur neun zu bestimmen, denn die übrigen fünfzehn lassen sich daraus berechnen. Man hat z. B. gefunden, dass das schwächste Ocular mit den sechs Objecti-

ven 35, 82, 140, 283, 375 und 490 Male vergrössert, und dass das Objectivsystem Nr. 3 mit den verschiedenen Ocularen 140, 217, 322 und 431 Male vergrössert. Die vergrössernde Kraft des schwächsten Oculars, dessen vergrössernde Kraft mit den übrigen Objectivsystemen auch bekannt ist, verhält sich dann zu jener der übrigen Oculare wie 1 : 1,55 : 2,3 : 3,08. Multiplicirt man die Zahlen der zuerst aufgeführten Reihe mit diesen unveränderlichen Coefficienten, so bekommt man die Vergrösserungen der Objectivsysteme mit jedem Ocular. Der Coefficient für das Ocular Nr. 3 ist z. B. 2,3; mit Weglassung der Bruchtheile treffen daher auf dasselbe die Vergrösserungswerthe 81, 189, 322, 651, 863, 1127.

221 Bei manchen Untersuchungen, z. B. beim Zählen von Objecten oder von Theilen eines Objects, die sich in einem bestimmten Raume befinden, ist es wünschenswerth, dass man den wahren Durchmesser des Gesichtsfeldes und dessen quadratischen Inhalt kennt, da dieser gleich ist dem Theile der Oberfläche eines Objectes, das sich unterm Mikroskope befindet. Diese Bestimmung kann gleichzeitig mit jener der Vergrösserung stattfinden, und es ist vortheilhaft, wenn man die Resultate auf der Tafel der Vergrösserungszahlen mit verzeichnet. Hierzu wird nur erfordert, dass man den Durchmesser vom Scheinbilde des Feldes in der Sehweiteentfernung bestimmt. Da aber, wenn katoptrische Mittel zur Projection benutzt werden, immer nur ein Theil des Feldes übersehen wird, so kann zu diesen Bestimmungen nur das Doppeltsehen in Anwendung kommen. Auch hier genügt eine kleine Anzahl von Messungen, da die scheinbare Grösse des Feldes blos vom Oculare abhängt. Man braucht dasselbe daher nur für die verschiedenen Oculare zu messen, und die gefundenen Werthe mit den Vergrösserungen zu dividiren. Für das schwächste Ocular des eben als Beispiel gewählten Mikroskops ist z. B. der scheinbare Durchmesser des Gesichtsfeldes $= 172^{mm}$ gefunden worden. Mit dem schwächsten Objectivsysteme ist demnach sein wahrer Durchmesser $= \frac{172}{35} = 4{,}91^{mm}$, und mit den übrigen Objectivsystemen für das nämliche Ocular 2,10, 1,23, 0,61, 0,46 und $0{,}35^{mm}$. Den quadratischen Inhalt des Gesichtsfeldes bekommt man dann, wenn man das Quadrat des Halbmessers mit 3,142 multiplicirt. Ist der Durchmesser des Feldes $= 4{,}91^{mm}$, so ist dessen quadratischer Inhalt $= 2{,}455 \cdot 2{,}455 \cdot 3{,}142 = 18{,}925$ Quadratmillimeter.

Zehntes Kapitel.

Das optische Vermögen des Mikroskops.

Es ist ein sehr verbreiteter Irrthum, zu glauben, das Hauptverdienst 222
eines Mikroskops bestehe in dessen vergrössernder Kraft. Auch pflegen Unkundige, wenn von einem Mikroskope die Rede ist, zuerst die Frage aufzuwerfen, wie weit dessen vergrössernde Kraft geht. Dieser Irrthum entspringt aus einer ganz unvollkommenen und selbst unrichtigen Vorstellung von der eigentlichen Bestimmung dieses Instrumentes. Bei Abschätzung der relativen Tüchtigkeit eines Mikroskops kommt in der That dessen Vergrösserungsziffer nur eine untergeordnete Bedeutung zu, und bei der Wahl zwischen zwei Mikroskopen hat man nicht darnach zu fragen, welches von beiden am stärksten vergrössert, sondern vielmehr darnach, welches der beiden Instrumente bei der schwächsten Vergrösserung die nämlichen Objecte gleich gut erkennen lässt, oder, was dasselbe ist, welches von beiden bei gleicher Vergrösserung an dem einen oder dem anderen Objecte die meisten und am schwierigsten wahrnehmbaren Einzelnheiten erkennen lässt.

Wo das optische Vermögen eines Mikroskops geprüft werden soll, da ist mithin ein anderer Maassstab anzuwenden, und einen solchen hat man an den Bildern der Objecte, welche durch das Mikroskop gesehen werden. Dass der Grad der Vergrösserung dieser Bilder dabei nur wenig in Betracht kommt, erkennt man alsbald, wenn man ältere Mikroskope mit jenen aus der neueren Zeit vergleicht. Unter den ersteren findet man solche, die 600 bis 700 Male und noch mehr vergrössern. Untersucht man aber die nämlichen Objecte durch sie und durch unsere neueren Mikroskope, so zeigt es sich, dass das eigentliche optische Vermögen der älteren Instrumente bereits bei einer 80 bis 100maligen Vergrösserung von den neueren erreicht, vielleicht gar übertroffen wird. Fragen wir nach dem Grunde dieser grösseren Vorzüglichkeit, so lassen sich zwei Momente dafür auffinden, die zwar nicht unabhängig von einander sind, von denen aber jedes für sich einen bestimmten Einfluss ausübt, nämlich 1) die Verbesserung der Aberrationen, und 2) die grössere Oeffnung, welche den Objectiven deshalb verschafft werden kann. Einzelnheiten über den Einfluss dieser beiden Momente auf das optische Vermögen der Mikroskope sind näher zu besprechen.

Was früher (§§. 49 und 56 bis 58) über die Wirkung der sphärischen 223
und chromatischen Aberration gesagt wurde, hat dargethan, dass die nothwendige Folge derselben eine mangelnde Schärfe der Umrisse ist oder, um es mit einem Worte auszudrücken, eine Nichtbegrenzung der Bilder. Durch die chromatische Aberration entstehen farbige Ränder,

und auch wenn sie fehlt, wie bei den Bildern durch sphärische Hohlspiegel, haben die Ränder doch etwas Nebelartiges, weil man nicht ein einziges Bild sieht, sondern eine Schicht Bilder von verschiedener Grösse. Wären beide Aberrationen vollständig aufgehoben, so würden auch die Bilder vollkommen begrenzt sein. Nun kann man freilich bei keinem einzigen dioptrischen oder katoptrischen Instrumente, das zur Bilderzeugung bestimmt ist, diesen höchsten Grad von Vollkommenheit erreichen, es lässt sich aber doch eine Annäherung an diese Vollkommenheit erzielen, und je grösser die Verbesserung der Aberration ist, um desto besser begrenzt werden die durch das Instrument wahrgenommenen Bilder sich darstellen. Jene Seite des optischen Vermögens eines Instrumentes, wobei es sich um diese Verbesserung der beiden Aberrationen handelt, kann mann daher mit dem Namen Begrenzungsvermögen oder definirende Kraft (*defining power*) belegen. Man könnte auch eben so gut von einem Vermögen der Sichtbarmachung reden, denn es werden im Allgemeinen um so kleinere Objecte noch wahrgenommen werden können, je schärfer deren begrenzende Umrisse sind. Davon muss ein anderes Vermögen wohl unterschieden werden, welches mit der Grösse des Oeffnungswinkels des Objectivsystems gleichen Schritt hält, und das man in der Regel als Durchdringungsvermögen oder penetrirende Kraft (*penetrating power*) bezeichnet, ein Namen, der, wie sich bald herausstellen wird, eigentlich unrichtig ist und besser durch die Bezeichnung Unterscheidungsvermögen ersetzt werden würde. Nachdem nämlich William Herschel (*Philos. Transact.* 1800 p. 49) zuerst auf den erheblichen Einfluss aufmerksam gemacht hatte, den die Grösse der Oeffnung bei Spiegelteleskopen auf das Wahrnehmbarmachen kleiner, oder richtiger gesagt, entfernter lichtschwacher Körper am Himmel ausübt, weshalb er die Kraft des Teleskops, dieselben sichtbar zu machen, als ein den Raum durchdringendes Vermögen bezeichnete, ist dann von Goring und nach diesem von vielen Anderen derselbe Namen auf jenen Antheil des optischen Vermögens eines Mikroskops übertragen worden, der die Folge ansehnlicher Vergrösserung des Oeffnungswinkels ist, wie sie durch Verbesserung der Aberrationen in den aplanatischen Systemen möglich geworden war. Man darf jedoch nicht aus den Augen verlieren, dass beiderlei Instrumente nur dann vollkommen vergleichbar sind, wenn man durch beide positive Lichtbilder erhält. Das ist beim Teleskope der Fall, wenn dasselbe nach leuchtenden Gegenständen am Himmel gekehrt ist, und beim Mikroskope, wenn man Gegenstände bei auffallendem Lichte betrachtet. Es bedarf keines Beweises, dass die Sichtbarkeit dann mit der Lichtstärke des Bildes zunimmt, und folglich mit der Grösse des Oeffnungswinkels des Objectivs.

Unter Durchdringungsvermögen des Mikroskops hat man aber eigentlich etwas ganz anderes verstanden, nämlich die Fähigkeit desselben, unterscheidbar feine Strichelchen und Pünktchen zur Wahrnehmung zu bringen, die sich ganz nahe bei einander befinden, und die, wenn sie auch

an und für sich nicht undurchsichtig sind, doch besonders sichtbar werden, sobald die sie treffenden Strahlen sich in verschiedenen Richtungen zerstreuen, also nicht ins Mikroskop eintreten, so dass durch diese Strichelchen und Pünktchen negative Netzhautbildchen entstehen. Die besten Beispiele dafür liefern die Längs- und Querstreifen auf den Schuppen der Schmetterlinge und besonders die feinen Zeichnungen auf den Kieselschalen vieler Diatomeen.

Es ist nun ganz richtig, dass dieses Vermögen, falls die Correction der Aberrationen unverändert bleibt, mit der Grösse des Oeffnungswinkels ganz gleichen Schritt hält; unrichtig dagegen ist es, wenn man dies einer Zunahme der Lichtstärke zuschreiben will, welche mit der Vergrösserung des Oeffnungswinkels gepaart geht. Davon kann man sich auf doppelte Weise überzeugen. Man stelle zwei einander ganz gleiche Mikroskope neben einander, mit Objectiven von gleicher Brennweite und gleichem Oeffnungswinkel, mit gleichen Ocularen und Beleuchtungsapparaten, mittelst deren das Gesichtsfeld nach Willkür schwächer und stärker beleuchtet werden kann, und bringe dann nach einander das nämliche Object unter jedes der beiden Mikroskope, z. B. eine Naviculacee oder noch besser das Probetäfelchen von Nobert. Ist nun das optische Vermögen beider Instrumente vollkommen gleich und das Gesichtsfeld gleich stark beleuchtet, so wird man natürlich durch beide gleich deutlich und unterscheidbar die feinen Strichelchen und deren Interstitien sehen. Sobald man aber auf das Objectiv des einen Mikroskops einen Ring, etwa aus schwarzem Papier, legt und dadurch die Oeffnung des Systems verkleinert, werden die Strichelchen und deren Interstitien undeutlicher und verschwinden zuletzt ganz, wenn man immer breitere und breitere Ringe nimmt und die Oeffnung immer kleiner macht. Dabei nimmt allerdings auch zugleich die Lichtstärke des Bildes des Gesichtsfeldes ab, aber das Unsichtbarwerden der Strichelchen kann davon doch nicht herrühren. Denn wenn man durch eine Modification des Beleuchtungsapparates das Gesichtsfeld wiederum gleich stark beleuchtet, als dasselbe in dem nebenstehenden Mikroskope beleuchtet erscheint, so wird man beobachten, dass diese Lichtverstärkung auch nicht den geringsten Einfluss übt. Wäre dies der Fall, dann würde das sogenannte Durchdringungsvermögen eines Mikroskops um so grösser werden, je mehr man die Beleuchtung verstärkte; es verhält sich aber gerade umgekehrt, d. h. um solche feine Strichelchen zu sehen, muss man einen nur mässigen Beleuchtungsgrad benutzen.

Der Grund dieser Seite des optischen Vermögens eines Mikroskops liegt deshalb nicht in der Lichtstärke der Bilder, wovon das Durchdringungsvermögen des Teleskops bedingt ist, sondern lediglich darin, dass, jenachdem das Bild durch ein Objectiv erzeugt wird, welches einen grösseren Oeffnungswinkel besitzt, dasselbe aus der Vereinigung einer grösseren Anzahl Strahlenbündel bestehen wird, deren Axen einen immer grösser werdenden Winkel mit der optischen Axe des Instrumentes bil-

den. Vornehmlich also durch die Randstrahlen werden solche feine Strichelchen sichtbar. Der Beweis dafür lässt sich geben, wenn man statt der erwähnten ringförmigen Diaphragmen auf die oberste Linse des Objectivs undurchsichtige Scheibchen von verschiedener Grösse legt, wodurch die centralen Strahlen abgehalten und nur die Randstrahlen frei durchgelassen werden. Man wird finden, dass die Lichtstärke dadurch zwar abnimmt, das Durchdringungsvermögen jedoch sich nicht mindert, ja sogar nicht selten zunimmt, wenn nämlich das Gesichtsfeld früherhin zu hell beleuchtet war und dadurch die schwachen negativen Bilder der feinen Strichelchen weniger hervortreten.

Ganz die gleiche Wirkung haben auch die centralen Diaphragmen im Beleuchtungsapparate (§. 206), die ebenfalls das Licht vermindern und dessen ungeachtet ein gewichtiges Hülfsmittel sind, um solche feine Strichelchen wahrnehmbar zu machen. Früher sahen wir nun, dass dies eine Folge der Beleuchtung durch schief auffallende Strahlen ist, es sei denn, dass das auf das Object geworfene Bündel aus divergirenden oder aus convergirenden Strahlen besteht, und dann ist es klar, dass durch eine grössere Oeffnung des Objectivs auch ein grösserer Theil der auswärts liegenden, also schiefen Strahlen des Lichtbündels zu treten vermag, mit anderen Worten, dass an der Erzeugung des Bildes des Gesichtsfeldes durch das Objectiv die schiefen Strahlen um so mehr und überwiegend Antheil nehmen, je grösser die Oeffnung ist. Da nun gerade die am meisten schief auffallenden Strahlen am weitesten von ihrer Bahn abgebrochen werden, wenn sie auf kleine Verdickungen oder Vertiefungen in einem sonst durchsichtigen Körperchen treffen, so kann es nicht fehlen, dass durch die zunehmende Menge der schiefen Strahlen im Bilde die localen Verdickungen oder Vertiefungen sich um so deutlicher als Strichelchen oder als Pünktchen darstellen müssen.

224 In einem optisch ganz vollkommenen Mikroskope müssten das begrenzende und das durchdringende Vermögen gleichen Schritt halten. Die Erfahrung lehrt aber, dass dies mit unseren gegenwärtigen Mikroskopen nicht der Fall ist. Der wesentliche Grund davon ist darin zu suchen, dass die Correction der Aberrationen, namentlich der sphärischen Aberration, in den aplanatischen Linsensystemen nicht gleichmässig für die centralen und für die peripherischen Abschnitte stattfindet. Sobald nun die Oeffnung der Objective eine bestimmte Grenze überschreitet, kann zwar das durchdringende Vermögen noch zunehmen, das begrenzende Vermögen dagegen erfährt eine Abnahme. Die Ränder der Objecte, die man bei durchfallendem Lichte betrachtet, werden ausserdem immer blasser und blasser, einestheils deshalb, weil das Bild im Brennpunkte des Oculars aus nicht ganz genau zusammenfallenden einzelnen Bildern zusammengesetzt ist, anderentheils deshalb, weil, wenn Ein Strich in zwei oder mehr dünnere zerfällt, jeder einzelne weniger wahrnehmbar sein wird, als die frühere Vereinigung dieser Striche. Jede organische

Haut, wie die Wand einer Zelle u. s. w., hat zwei Oberflächen, eine äussere und eine innere. Hat nun ein Mikroskop ein ausreichendes durchdringendes oder unterscheidendes Vermögen, dann werden sich die Ränder der beiden Oberflächen als besondere Streifen mit einem hellen Interstitium darstellen, und es versteht sich von selbst, dass jeder von diesen Streifen viel dünner und deshalb schwerer wahrnehmbar sein wird, als wenn das sie trennende Interstitium nicht zur Wahrnehmung gelangt. Daher kann es geschehen, dass gerade in Folge dieses grösseren unterscheidenden Vermögens sehr dünne und durchscheinende Objecte nicht mehr wahrnehmbar sind, sobald die dadurch entstehenden negativen Netzhautbildchen zu klein werden, während, wenn zwei oder mehr derselben zusammenfallen, diese einen zur Erkennung ausreichenden Eindruck auf den Sehnerven machen.

Da aus dieser Betrachtung folgt, dass das Vermögen der Sichtbarmachung eines Mikroskops leiden kann, wenn man die Vermehrung des Unterscheidungsvermögens zu weit treibt, und da ersteres für die meisten praktischen Zwecke der Mikroskopanwendung das meiste Gewicht hat, so erscheint es nicht räthlich, sich zu ausschliesslich auf die Vergrösserung des Oeffnungswinkels der Linsensysteme zu verlegen, wie es in den letzten Jahren, zumal in England, der Fall war. Es muss darin ein gewisses Maass eingehalten werden, das sich blos durch die Erfahrung bestimmen lässt. Dabei hat man sich dann auch zu hüten, dass man die Tüchtigkeit eines Mikroskops nicht allzu einseitig nach dem Maassstabe abschätzt, den eine einzelne Classe von Probeobjecten an die Hand giebt. Diese und andere Mittel zur Untersuchung des optischen Vermögens eines Mikroskops werden in einem folgenden Kapitel ausführlicher besprochen werden.

Man könnte noch die Frage aufwerfen, ob es nicht möglich sei, ein Mikroskop so einzurichten, dass man nach Willkür und je nach der besondern Art der Objecte sein begrenzendes oder sein unterscheidendes Vermögen verstärken kann. So etwas würde durch zwei verschiedene Sätze von Objectiven ausführbar sein, deren einer ein grösseres begrenzendes, der andere ein grösseres unterscheidendes Vermögen besässe. Offenbar müsste aber der Preis eines Mikroskops dadurch sehr erhöht werden, da es gerade die stärksten also auch theuersten Systeme wären, die man in Doppelzahl zu besitzen wünschen müsste. Auch erscheint es nicht unmöglich, dass man dieses Ziel noch auf eine andere Weise erreicht, indem man nämlich bei solchen Linsensystemen, die ein grosses unterscheidendes und dafür ein zu geringes begrenzendes Vermögen besitzen, die Oeffnung temporär verkleinert. Schon eine passende Benutzung des Beleuchtungsapparates kann dabei mehr oder weniger zu Gute kommen. Ist der Durchmesser des Lichtbündels, welches auf die unterste Linse des Objectivs fällt, kleiner als der Durchmesser dieser Linse, so wird dadurch nur jener Theil der Linsenöffnung verwendbar gemacht, durch welchen die Lichtstrahlen eintreten. Der Nutzen der ringförmigen Dia-

phragmen beruht zum Theil auf solcher Verkleinerung des Lichtbündeldurchmessers. Eine zweite und noch zuverlässigere Methode ist aber die, dass man die Oeffnung der dem Objecte zugekehrten Linse des Objectivsystems verengert, indem man unmittelbar auf dieselbe eine kleine Platte legt mit einer Oeffnung, deren Axe genau mit jener der Linse zusammenfällt. Man würde es auch so einrichten können, dass eine um eine Spindel sich drehende kleine Platte mit Oeffnungen von verschiedener Grösse über die Linse wegbewegt werden könnte*), so dass, wie es schon bei den grösseren Diaphragmen im Beleuchtungsapparate ausgeführt ist, die genaue centrische Stellung jeder Oeffnung in der Platte durch einen kleinen Zahn in der drehenden Scheibe bestimmt würde, sowie durch eine kleine in dieser Stellung fixirende Feder. Es ist mir unbekannt, ob man Linsensystemen mit sehr grossem Oeffnungswinkel bereits eine solche verbessernde Einrichtung gegeben hat; der Nutzen derselben unterliegt aber wohl keinem Zweifel.

Elftes Kapitel.

Prüfung des optischen Vermögens eines Mikroskops.

225 Nach dieser allgemeinen Betrachtung über die Einrichtung und die Wirkung der verschiedenen Mikroskope können wir jetzt zur speciellen Auseinandersetzung der Regeln übergehen, welche bei der Beurtheilung des optischen Vermögens eines Mikroskops zu beachten sind, sowie zur Besprechung der hierzu dienlichen Mittel.

Folgende Punkte kommen dabei in Betracht, die wir der Reihe nach untersuchen wollen:

1) Der Grad des Aplanatismus oder der Verbesserung beider Arten von Aberration.

2) Die Brennweite und die Grösse des Oeffnungswinkels, und zwar beim einfachen Mikroskope der Linse oder des Linsensystems, beim zusammengesetzten dioptrischen Mikroskope des Objectivs, beim katadioptrischen Mikroskope des Spiegels.

3) Die grössere oder geringere Vollkommenheit der Politur an den Oberflächen der Linsen und Spiegel, sowie die Homogeneität der Substanz der Linsen.

---

*) Am besten würde diese drehbare Scheibe natürlich eine solche Stellung bekommen, dass sie sich gerade unter der untersten Objectivlinse befindet. Wie dünn aber auch eine solche Platte gearbeitet wird, es steht zu besorgen, dass, wenigstens bei den am stärksten vergrössernden Systemen, welche dem Objecte sehr genähert werden, diese Stellung sich nicht geben lässt.

4) Die Lichtstärke des Mikroskops ohne den Beleuchtungsapparat und mit demselben, sowie die Färbung des Gesichtsfeldes.

5) Die Genauigkeit der Centrirung an den verschiedenen Theilen des optischen Apparates.

6) Die Ausdehnung des Gesichtsfeldes und die mehr oder weniger starke Ebenung desselben.

7) Das begrenzende oder sichtbarmachende Vermögen.

8) Das durchdringende oder unterscheidende Vermögen.

9) Das vergrössernde Vermögen.

Um den Grad der Verbesserung beider Aberrationen zu 226
untersuchen, kenne ich kein geeigneteres Verfahren als jenes, welches zuerst von Lister, späterhin aber von Goring und auch von Mohl empfohlen worden ist. Es wird nämlich das Bildchen eines Fensterrahmens, der sich in einem Quecksilbertropfen abspiegelt, als Object benutzt. Zu dem Ende bringt man ein paar kleine Quecksilbertropfen, wie man sie erhält, wenn Quecksilber mit Wasser in einer Flasche geschüttelt wird, auf eine matt geschwärzte kleine Tafel, und stellt das Mikroskop 3 bis 4 Meter vom Fenster entfernt auf. Auf jedem Tropfen, der durchs Mikroskop betrachtet wird, hat man dann ein Bildchen des Fensters, das grösser oder kleiner ist, je nach der Grösse des Tropfens und seiner Entfernung vom Fenster. — Zu dem nämlichen Zwecke wurde von Moser (Repertor. d. Phys. Bd. V, S. 399) ein Quecksilberfaden in einem feinen Haarröhrchen empfohlen, der auch wirklich ganz gut dazu genommen werden kann und noch den Vortheil bietet, dass er auf einer Objecttafel befestigt und mit einem auf einem Papierringe ruhenden Deckplättchen bedeckt sich aufbewahren lässt und immer bei der Hand ist, wenn man den Aberrationszustand des Mikroskops prüfen will. Nur muss man ein ganz dünnes, vor dem Glasgebläse ausgezogenes Röhrchen dazu nehmen, und bei der Beurtheilung auch die Dicke der Wandung mit in Anschlag bringen, die hier natürlich gleichen Einfluss übt wie ein Deckplättchen.

Betrachtet man nun ein so entstandenes Bild durch ein Mikroskop, das keine chromatische Aberration besitzt, etwa durch ein katadioptrisches Mikroskop, das ausserdem noch einen elliptischen Spiegel hat, um die sphärische Aberration aufzuheben, so wird man dasselbe, wenn es in der gehörigen Entfernung ist, scharf begrenzt sehen, ohne eine Spur von Lichtnebel um dasselbe. Das ganze Gesichtsfeld erscheint vollkommen schwarz, mit Ausnahme des Bildchens in demselben. Wird dann die Entfernung des Mikroskops vom Bildchen verändert, so verschwindet das letztere fast auf Einmal und es entsteht ein runder Lichtkreis, der zwar nicht scharf begrenzt ist; doch breitet sich auch jetzt noch kein Lichtnebel über das Gesichtsfeld aus.

In der Wirklichkeit kommt eine so vollkommene Beseitigung der sphärischen Aberration niemals vor, weder bei katoptrischen noch bei

dioptrischen Mikroskopen; sie können aber nach dem Früheren (§§. 64 und 160) in dieser Hinsicht überverbessert oder unterverbessert sein. In beiden Fällen zeigt sich ein Lichtnebel um das Bildchen, und durch Veränderung der Entfernung lässt sich entdecken, ob die Aberration unter- oder überverbessert ist. Besteht Unterverbesserung, so werden, wenn das Bildchen aus seiner richtigen Stellung nach unten bewegt wird, eine Zeitlang dessen Umrisse noch sichtbar sein, während sich gleichzeitig der obengenannte Lichtkreis bildet. Nähert man dagegen das Bildchen dem Mikroskope, so verschwindet es auf einmal. Gerade das Gegentheil beobachtet man, wenn die sphärische Aberration überverbessert ist: das Bildchen verschwindet auf einmal, wenn es entfernter rückt.

Bei dioptrischen Mikroskopen werden diese Erscheinungen etwas zusammengesetzter, weil man hier auch zugleich mit den Wirkungen der chromatischen Aberration zu thun hat. Der Grad von Unter- oder Ueberverbesserung der letztern lässt sich aber durch die nämlichen Hülfsmittel bestimmen. Befindet sich das Bildchen in der gehörigen Entfernung, bei welcher es am schärfsten hervortritt, dann werden sich an dessen Rändern deutliche prismatische Farben zeigen, sobald kein achromatisches Mikroskop gebraucht wird. Nähert man dann das Bildchen dem Mikroskope, so dass es sich bis zu dem bereits erwähnten Lichtkreise ausbreitet, so wird man an diesem einen ziemlich breiten rothen Saum bemerken, der nach der Peripherie hin ins Gelbrothe übergeht; rückt man das Bildchen weiter vom Mikroskope weg, dann bekommt der Lichtkreis einen violetten Saum.

Wird das Bildchen auf die nämliche Art mittelst eines guten achromatischen Mikroskops untersucht, dann wird man wenige oder gar keine Spuren prismatischer Farben an demselben bemerken. Wenn aber dann an der richtigen Entfernung desselben Veränderungen vorgenommen werden, so bilden sich zwar auch noch gefärbte Säume an dem Lichtkreise; diese sind aber schmaler, als bei einem nicht achromatischen Mikroskope. Vollständig fehlen sie indessen niemals, und das kann auch gar nicht vorkommen, einmal weil eine achromatische Doppellinse und eben so ein System solcher Linsen nur bei einem bestimmten Abstande des Objectes vom Mikroskope von chromatischer Aberration frei sein kann (§. 64), zum anderen aber deshalb, weil auch bei möglichst vollkommenem Achromatismus noch die Farben des secundären Spectrums übrigbleiben (§. 62). Wenn also auch die Verbesserung die möglichst vollkommene würde, immer würden noch farbige Säume entstehen, so wie das Bildchen weiter rückt oder sich mehr nähert. Man kann also nur aus dem Mehr oder Weniger der sich bildenden Farben auf die mehr oder weniger vollständige Beseitigung der chromatischen Aberration schliessen. Ist diese unterverbessert, dann werden sich die rothen und blauen Säume, wenn schon in schwächerem Grade, unter den nämlichen Umständen zeigen, wie bei einem nichtverbesserten Mikroskope, während bei stattfindender Ueberverbesserung ihre Ordnung sich umkehrt, also beim Fortrücken des

Bildchens ein rother Saum entsteht, und ein blauer bei dessen Annäherung.

Hat das Mikroskop eine sehr kurze Brennweite, dann fällt es schwer, dass man das Fensterbildchen in dem Quecksilbertropfen noch zur Ansicht bringt, weil dann die Strahlen durch den Rand des Röhrchens, welches die Linsen einschliesst, in ihrer Bahn behindert sind. In diesem Falle kann man nach Goring's Rathe statt Quecksilbertropfen kleine Luftbläschen nehmen, die man leicht erhält, wenn man eine dickflüssige Masse, wie Eiweiss, Canadabalsam mit Terpentinöl gemengt, oder eine Gummilösung u. s. w. schüttelt. Solche Luftbläschen wirken wie kleine Zerstreuungslinsen und erzeugen so Scheinbilder von allen Objecten, deren Strahlen durch den Beleuchtungsspiegel reflectirt werden. Natürlich muss man hierzu einen Planspiegel gebrauchen. Da man aber diese Bilder nicht auf einem dunkeln Grunde sieht, gleich jenen der Quecksilberkügelchen, vielmehr auf einem hellen Hintergrunde, so eignen sie sich weniger dazu, den Grad der Aberrationsverbesserung zu untersuchen, da namentlich die Charaktere der sphärischen Aberration an ihnen weit weniger hervortreten. Aus diesem Grunde verdienen die Quecksilberkügelchen immer weitaus den Vorzug, und nur dann, wenn man sehr starke Linsen und Objective zu prüfen hat, ist man genöthigt, zu den Luftbläschen seine Zuflucht zu nehmen *).

Es sind auch noch andere Methoden anempfohlen worden, namentlich zur Prüfung der sphärischen Aberration. Goring benutzte dazu eine emaillirte Platte mit weissen Ziffern auf einem schwarzen Hintergrunde. Mohl trug auf eine Glasplatte eine dicke Schicht ostindische Tinte auf, und zeichnete da hinein mit einer Nadel kleine Ringe und andere Figuren, die dann bei durchfallendem Lichte betrachtet wurden. Ist die sphärische Aberration vollständig aufgehoben, so werden in beiden Fällen die Ränder der weissen Ziffern wie der Streifen und Kreise sehr scharf hervortreten, ohne dass man seitlich einen Lichtnebel im schwarzen Theile des Gesichtsfeldes bemerkt. Nähert oder entfernt man das Mikroskop, so breitet sich das Bild aus; aber wenn auch seine Ränder dabei mehr und mehr an Schärfe verlieren, so zeigt sich doch auch jetzt noch kein umgebender Lichtnebel. Besteht Unterverbesserung, so bemerkt man beim Abwärtsrücken des Objects einen starken Lichtnebel, der sich nach innen und aussen ausbreitet, und durch diesen Nebel sieht man noch eine Strecke weit die ursprüngliche Figur hindurchschimmern. Bei Annäherung zum Mikroskope zeigt sich dieser Lichtnebel nicht, aber das Gesichtsfeld bleibt schwarz. Ist die sphärische Aberration überverbessert, so wird man beim Annähern und beim Fernrücken gerade die entgegengesetzten Erscheinungen beobachten.

Es ist klar, dass noch manche andere Mittel zu gleichem Zwecke

---

*) Die durch Luftbläschen entstehenden Bilder lassen sich noch auf eine andere Weise dazu verwenden, die Grenzen des optischen Vermögens eines Mikroskops zu bestimmen, worauf ich später zurückkommen werde.

benutzt werden können; bei allen weissen Gegenständen auf schwarzem Hintergrunde und bei allen Oeffnungen in einem sonst schwarzen Gesichtsfelde, wodurch weisses Licht fällt, zeigen sich gleiche Erscheinungen wie die oben genannten. Ich erwähne deshalb hier nur noch Ein Mittel, das mir besonders geeignet erschienen ist, weil es sich auch bei den stärksten Vergrösserungen noch anwenden lässt, wo die künstlich erzeugten Figuren oder die mit einer Nadel auf der geschwärzten Glasplatte gezogenen Striche eine zu grosse Breite besitzen, als dass die Wirkungen der sphärischen Aberration daran noch deutlich erkennbar sein sollten. Die weissen Figuren oder Striche müssen dann sehr fein sein, und solche verschafft man sich leicht, wenn man ein Glasplättchen einige Augenblicke in die Flamme einer Kerze oder einer Lampe hält, bis sich eine nicht zu dicke Kohlenschicht darauf abgesetzt hat. Bringt man dieses Plättchen noch erwärmt unters Mikroskop, dann erblickt man zuerst eine gleichmässige schwarze Oberfläche; beim Abkühlen aber theilt sich dieselbe allmälig in eine grosse Menge kleiner unregelmässiger Polygone, die meistens von geraden Linien begrenzt werden. Dadurch entstehen helle Interstitien von verschiedener Breite, an denen man auf die angegebene Weise den Grad und die Art der Verbesserung der sphärischen Aberration prüfen kann.

Prüft man verschiedene Mikroskope nach diesen Methoden, so wird man natürlich auch zu verschiedenen Resultaten gelangen. Die Art des Instruments übt aber darauf einigen Einfluss. So werden die aus einer und derselben Glassorte verfertigten Instrumente, ebenso auch die aus Edelsteinen bestehenden Doublets und Triplets eines einfachen Mikroskops stets als unterverbesserte sich kund geben, in Betreff der sphärischen sowohl als der chromatischen Aberration. Anders verhält es sich mit aplanatischen Linsensystemen. Ich habe schon früher (§§. 159, 160) erwähnt und die Gründe dafür angegeben, dass diese überverbessert sein müssen, wenn sie zu einem zusammengesetzten Mikroskope verwendet werden sollen. Auch wird man bei allen solchen Linsensystemen, die aus guten Werkstätten kommen, diese Ueberverbesserung an den obigen Charakteren erkennen können.

Benutzt man sie aber im zusammengesetzten Mikroskope in Verbindung mit Ocularen, so wird man jetzt die Charaktere der Unterverbesserung und dann jene der Ueberverbesserung wahrnehmen, ja es kann selbst der Fall vorkommen, dass, während eine der beiden Aberrationen überverbessert ist, die andere noch unterverbessert sich darstellt. Auch können die beiden Verbesserungen wirklich nicht vollkommen gleichen Schritt halten, und nur eine Annäherung zu einem genauen mittleren Verhältniss ist innerhalb gewisser Grenzen möglich. Ziehen wir die Erfahrung zu Rathe, so ist eine schwache Unter- oder Ueberverbesserung der chromatischen Aberration weniger schädlich, als eine unvollkommene Verbesserung der sphärischen Aberration. Deshalb kommen die Charaktere der letzteren bei der Beurtheilung eines Mikroskops besonders in

Betracht. Ihre Unterverbesserung wie ihre Ueberverbesserung beeinträchtigen in gleichem Maasse das begrenzende Vermögen des Mikroskops. weil das Bild dadurch stets getrübt und nebelartig wird. Ein schwach gefärbter Saum ist weniger schädlich, und da ein bläulicher Rand dem Auge angenehmer ist als ein röthlicher oder gelblicher, so wird man einer schwachen Ueberverbesserung dieser Aberrationsart in der Regel den Vorzug geben.

Ich erinnere aber an die verschiedenen Verfahrungsweisen (§. 160), wodurch man in einem zusammengesetzten dioptrischen Mikroskope die Verbesserung der beiden Aberrationen bis zum höchsten Grade der Vollkommenheit zu steigern vermag. Es steht natürlich nicht zu erwarten, dass ein Mikroskop, auch wenn es aus der besten Werkstätte kommt, bei allen Combinationen in gleichem Maasse von Aberrationen frei sein werde, es müsste denn vom Verfertiger selbst mit Mitteln zu weiterer Correction ausgestattet sein. Ist dies, wie gewöhnlich, nicht der Fall, so kann man zunächst durch genaue Prüfung ermitteln, welche Combinationen zumeist von Aberrationen frei sind, und andererseits kann man auch das Mikroskop durch kleine Modificationen, z. B. durch Verkürzung oder Verlängerung des Rohrs, für die übrigen Combinationen merklich verbessern.

Auch vergesse man nicht, wenn man diesen Theil der optischen Einrichtung eines Mikroskops beurtheilen will, den früher (§. 161) besprochenen Einfluss der Deckplättchen mit in Rechnung zu bringen, da diese bei der Untersuchung nicht zu entbehren sind und der Beobachter deshalb im Stande sein muss, entsprechend ihrer verschiedenen Dicke die nöthigen Verbesserungen anzubringen.

Betrachtet man Objecte mittelst eines aplanatischen Mikroskops, so 227
nimmt man an den Rändern der Bilder eine Erscheinung wahr, die man sich wohl hüten muss für ein Zeichen unvollkommener Aberrationsverbesserung zu halten, da sich dieselbe gerade um so deutlicher darstellt, je vollkommener diese Verbesserung ist; daher sie gerade zur Charakteristik dieser Verbesserung gehört. Ist nämlich das Object in der gehörigen Entfernung vom Mikroskope, so dass seine Ränder scharf begrenzt sind, so gewahrt man um sie einen dünnen Lichtsaum, der durch eine schattenartige, manchmal farbige feine Linie begrenzt wird. Der Grund dieser Erscheinung liegt in der Beugung der Lichtstrahlen, die an den Rändern des Objects vorbeigehen, und in der dabei stattfindenden Interferenz, die zwar stets vorhanden ist, aber nur dann zur Erscheinung kommt, wenn die Bilder in Folge der Verbesserung nicht mehr als eine Schicht von einer gewissen Dicke, sondern zu einem Gesammtbilde vereinigt von der Netzhaut aufgefangen werden. Dieser feine Lichtsaum ist zwar in manchen Fällen, zumal wo es sich um genaue mikrometrische Bestimmungen handelt, etwas hinderlich, niemals aber in einem sehr hohen Grade. Es ist aber gut, wenn darauf aufmerksam gemacht wird, weil diejenigen, denen diese Erscheinung unbekannt ist, der

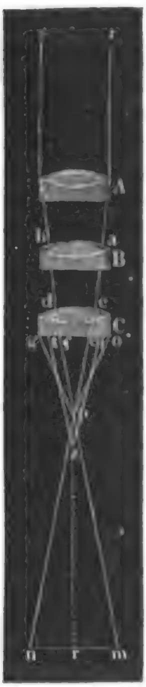
Gefahr ausgesetzt sind, diese zarte Linie für die Begrenzung eines dünnen Häutchens zu halten. Ganz lässt sich dieselbe nicht beseitigen, am wenigsten durch achromatische Beleuchtungsapparate, die man ausdrücklich dafür empfohlen hat.

228 Der zweite Punkt, der bei der Beurtheilung eines Mikroskops in Frage kommt, ist die Brennweite desselben und die Grösse des Oeffnungswinkels, unter welchem die vom Objecte ausgehenden Strahlen ins Mikroskop treten.

Ueber das Auffinden der Brennweite von Linsen und Linsensystemen brauche ich hier nicht in Einzelnheiten einzugehen; in den §§. 115, 116 und 125 sind die hierzu nöthigen Anweisungen enthalten.

Was den Oeffnungswinkel eines Linsensystems betrifft, so ist aus Fig. 119 deutlich zu entnehmen, dass derselbe durch die Linien *op* und *pg*, welche vom Brennpunkte *p* nach den Rändern der vordern Linse *C* gezogen werden, nicht bestimmt wird, es müsste denn diese Linse gerade einen solchen Durchmesser haben, dass alle auf sie treffenden Strahlen, nachdem sie durch die beiden anderen Linsen gebrochen worden sind, sich in dem Strahlenbündel *rs* befinden, welches auf der obern Seite austritt und aus parallelen Strahlen besteht. Lässt man nämlich auf die obere Linse *A* eines solchen Linsensystems ein Bündel paralleler Strahlen fallen, dann werden nur die Abschnitte *ab*, *cd* und *ef* der beiden anderen Linsen von den convergirenden Strahlen getroffen werden, die sich weiterhin im Brennpunkte *p* kreuzen. Der wahre Oeffnungswinkel ist daher nicht *opg*, sondern *epf*. Man kann gleichzeitig diesen Winkel und die Brennweite bestimmen, indem man ein Bündel Sonnenstrahlen auf die obere Linse fallen lässt, und dann den Durchmesser des erleuchteten Feldes *mn* und dessen Entfernung vom Brennpunkte *p* misst. Nennt man den Durchmesser des Objectivs *o*, jenen des erleuchteten Feldes *l*, des letztern Entfernung vom Brennpunkte *d*, und den Oeffnungswinkel φ, so ist $2\ Tang.\ {}^1/_2\ \varphi = \frac{l+o}{d}$, da man wegen der Kleinheit des Sonnenbildchens im Brennpunkte dasselbe als einen einzigen Punkt betrachten kann.

Fig. 119.



Sobald man aber ein solches Linsensystem mit einem Oculare zu einem zusammengesetzten Mikroskope verbindet, tritt eine Aenderung im Werthe des Oeffnungswinkels ein, und er ist sogar, wenn auch in sehr engen Grenzen, für verschiedene Augen, die durch das Mikroskop sehen, ein veränderlicher. Für ein Auge nämlich, welches zum Scharf-

sehen auf einen unendlichen Abstand accommodirt sein muss, wird sich das Object in solcher Entfernung von der vordern Objectivlinse befinden müssen, dass das Lichtbündel, welches aus dem Oculare ins Auge tritt, aus parallelen Strahlen besteht. In der Regel wird dies aber nicht der Fall sein, wenn das durchsehende Auge sich in Ruhe befindet und für eine geringere Entfernung accommodirt ist, in welcher dann die Projection des Scheinbildes stattfindet. Die aus dem Oculare heraustretenden Strahlen sind dann mehr oder weniger convergirende. Um aber einen allgemeinen Maassstab zu haben, darf man diese Strahlen als parallel annehmen; alsdann kann man, wie es Robinson (*Proceedings of the Royal Irish Academy* 1854. VI. p. 38) gethan hat, den Oeffnungswinkel des ganzen Mikroskops auch auf die gleiche Weise bestimmen, wie bei einem Objectivsysteme. Da nun die parallelen Strahlen, welche durchs Ocular eintreten, sich auf der andern Seite im Mikroskoprohre kreuzen, so bekommt die oberste Linse des Objectivsystems divergirende Lichtstrahlen. Folglich werden die Strahlen darin weniger convergiren als im erstern Falle, und ein grösserer Theil der untern Linse, etwa *it* in Fig. 119, kommt in Anwendung. Während aber hierdurch die Grösse der wirklich nutzbaren Oeffnung zunimmt, nimmt jene des Oeffnungswinkels selbst wiederum dadurch ab, dass *z*, der Vereinigungspunkt der Strahlen, weiter entfernt ist als der Hauptbrennpunkt des Objectivsystems.

Aus dieser Betrachtung ergiebt sich also: a) dass bei einem Linsensysteme, welches als Objectiv eines zusammengesetzten Mikroskops gebraucht wird, die Grösse der nutzbaren Oeffnung zunimmt; b) dass man den Oeffnungswinkel des Objectivs nicht, wie es vielfach geschieht, jenem des ganzen zusammengesetzten Mikroskops gleich annehmen kann, weil alle Linsen des letztern zusammen ein System bilden, dessen Brennpunkt nicht mit jenem des Objectivs allein zusammenfällt, und diese Differenz um so grösser ausfallen wird, je länger das Rohr ist und je mehr das Ocular für sich allein vergrössert; c) dass diese Differenz bis zu einem gewissen Punkte durch Nutzbarmachung eines grösseren Theils der Oeffnung der untersten Linse compensirt werden kann, so dass die Schenkel der beiden Lichtkegelwinkel *epf* und *izt* fast parallel sind und die beiden Winkel deshalb fast einander gleich sein können.

Bevor wir die praktische Brauchbarkeit dieser Methode näher prüfen, müssen wir noch einer andern gedenken, die schon vor vielen Jahren von Lister (*Phil. Trans.* 1830. p. 191) empfohlen wurde und seitdem sehr allgemein in Gebrauch gekommen ist. Ihr Princip wird durch Fig. 120 (a. f. S.) erläutert, wo *A* das Ocular, *B* das Objectiv eines zusammengesetzten Mikroskops darstellt. Ein Bündel paralleler Strahlen *rs*, die auf das Ocular treffen, werden sich in *a* vereinigen und von da divergiren; ein Theil derselben wird durch das Objectiv gehen, sich dann im Brennpunkte *p* kreuzen und weiterhin ein erhelltes Gesichtsfeld bilden, dessen Durchmesser in *mn* dargestellt ist. Lässt man Lichtstrahlen den umgekehrten Weg nehmen, so würden sie der nämlichen Rich-

tung folgen. Bringt man nämlich einen leuchtenden Gegenstand, die Flamme einer Kerze oder Lampe, in beliebigen Abstand vom Objectivsysteme, so werden keine Strahlen ins Mikroskop treten, so lange sich derselbe ausserhalb des Lichtkegels *mpn* befindet, etwa zwischen *t* und *m*. Rückt man aber die Flamme in der Linie *tm* fort, so wird in dem Augenblicke, wo sie nach *m* kommt, durch das Objectiv ein Strahl nach *a* gelangen, so dass das Gesichtsfeld halb erleuchtet und halb verdunkelt sich darstellt. Schreitet dann die Flamme von *m* nach *n* fort, so erhellt sich das ganze Gesichtsfeld. Sowie sie jedoch in *n* ankommt, gelangt wiederum nur ein Randstrahl nach *a* und das Gesichtsfeld ist auf der einen Seite erleuchtet, jetzt aber auf der entgegengesetzten als vorher. Bewegte man also die Flamme längs eines in Grade getheilten Kreises, so würde der Oeffnungswinkel $epf = mpn$ durch den Bogen *mn* gemessen werden. Offenbar lässt sich aber das nämliche Ziel auf einfachere Weise dadurch erreichen, wenn man nicht die Flamme, sondern das Mikroskop einen Kreisbogen beschreiben lässt, so dass der Brennpunkt *p* in der Axe liegt, um welche die Drehung geschieht, und zwar in gleicher Höhe mit der Flamme, wenn sich das Mikroskop in einer horizontalen Ebene bewegt. Ein Mikroskop also, welches horizontal gestellt und dann zugleich um eine senkrechte Axe gedreht werden kann, lässt sich zur Winkelmessung benutzen, wenn man es auf einen in Grade getheilten halben Kreisbogen stellt, dessen Mittelpunkt in der Drehungsaxe liegt. Als Zeiger kann eine Nadel oder ein anderer spitziger Körper dienen, den man mittelst eines Fadens am Mikroskopkörper dergestalt aufhängt, dass er sich über der Theilung befindet. Das Objectiv wird bis zu seiner Brennweite von der Drehungsaxe gebracht, und wenn das Mikroskoprohr, wie gewöhnlich, zu kurz ist, so kann man sich hierzu verlängernder Hülfsröhren bedienen.

Fig. 120.

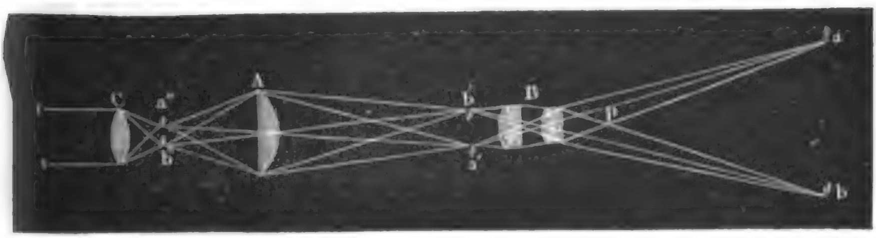


Eine besondere dazu bestimmte mechanische Einrichtung hat Goring (*Microscopical Illustrations* p. 292) angegeben, die wesentlich darin besteht, dass das Mikroskop, dessen Oeffnungswinkel gemessen werden soll, in horizontaler Richtung mittelst zweier Stützen auf einer messingenen Platte ruht, die sich selbst wieder auf einer andern Messingplatte mit Gradeintheilung herumdrehen kann; und zwar mittelst einer Spindel,

in deren Verlängerung eine feine Nadel befindlich ist, auf welche das Mikroskop scharf eingestellt wird.

Eine Abänderung dieses Verfahrens hat Wenham (*Quart. Journ. of microscop. Sc.* 1854. VI. p. 134 und VIII. p. 209) darin eintreten lassen, dass das horizontal gestellte Mikroskop nach einem entfernten Gegenstande, etwa nach der Flamme einer Lampe gerichtet wird, gleichwie bei Lister's Methode. Die Strahlen werden aber dann nicht sogleich durch das Auge aufgenommen, sondern vor das Ocular kommt noch eine Linse in solcher Entfernung, dass das Flammenbildchen durch diese Linse vergrössert gesehen wird. Wenn man dann das Mikroskoprohr wieder in einer horizontalen Ebene herumdreht, so wird, nach Wenham, der Oeffnungswinkel durch den Bogen gemessen werden, welchen das Mikroskop bis zu den beiden Punkten durchläuft, wo das Bildchen der Flamme nur noch zur Hälfte sichtbar ist. Zur Erläuterung dient Fig. 121,

Fig. 121.



worin der Einfachheit halber, gleichwie in Fig. 120, das Ocular nur durch eine einzige Linse vertreten wird. Ist *A* das Ocular, *B* das Objectiv und *C* die hinzugefügte Linse, so werden von einer in *a* oder *b* befindlichen Flamme hinter dem Objectiv verkleinerte Bilder in *a'* oder *b'* entstehen. Von hier aus divergiren die Strahlen und vereinigen sich dann wieder auf der andern Seite des Oculars zu zwei Bildchen *a''* oder *b''*, welche durch die Linse *C* wie durch ein einfaches Mikroskop betrachtet werden, so dass die Strahlen durch diese Linse fast parallel heraustreten. Liegt nun der Brennpunkt des ganzen Systems mit Einschluss der vorgesetzten Linse *C* in *p*, so werden die Bildchen der Flammen nicht mehr sichtbar sein, sobald die Randstrahlen der von ihnen ausgehenden und das Objectiv treffenden Strahlenkegel durch *p* treten, mit anderen Worten also, das Bild einer Flamme wird nicht mehr sichtbar sein, wenn das Mikroskop gedreht wird, bis sich die Flamme ausserhalb des Kegels *apb* befindet.

Man ersieht aber auch zugleich, dass die Methode von Wenham nicht ganz gleiche Resultate liefern kann, wie jene von Lister. In den beiden Fällen hat man nämlich ein verschiedenes System von Linsen, und damit verbindet sich eine andere Lage des Hauptbrennpunktes und mithin auch eine Verschiedenheit des Oeffnungswinkels selbst. Nach Wenham's Methode wird man in der Regel einen etwas grössern Oeff-

nungswinkel bekommen; doch habe ich bei genauer Vergleichung beider Verfahrungsarten gefunden, dass der Unterschied in der Wirklichkeit sehr gering ist, bei sehr grossen Oeffnungswinkeln kaum 1° beträgt, und somit, wie gleich erhellen wird, eigentlich noch innerhalb der Grenzen der Fehler liegt, die sich bei dieser Methode nur sehr schwer vollständig vermeiden lassen. Wenham's Verfahren hat aber den grossen Vorzug, dass sich dadurch mit grösserer Sicherheit die Grösse des wirklich nutzbaren Theils der Oeffnung vom Objectivsysteme bestimmen lässt. In den letzten Jahren hat man sich nämlich auf einmal zu ausschliesslich auf die Verfertigung von Linsensystemen mit einem sehr grossen Oeffnungswinkel verlegt, dabei aber die nicht minder wichtige Anforderung an ein gutes Mikroskop, die Correction beider Aberrationen, namentlich der sphärischen, etwas vernachlässigt. Es ist gewiss beachtenswerth, dass es der Kunst gelungen ist, Objectivsysteme mit Oeffnungswinkeln herzustellen, die man vor wenigen Jahren noch für unerreichbar hielt; indessen lehrt eine vorurtheilslose Untersuchung solcher Systeme mit Oeffnungswinkeln von 150°, 160°, 170°, ja selbst noch mehr, dass mit dieser Vergrösserung der Oeffnung eine Verstärkung im optischen Vermögen des Mikroskops nicht immer gleichen Schritt hält. Man muss daher nicht blos den Oeffnungswinkel als Ganzes messen, sondern auch jenen Theil dieses Winkels, wodurch der wirklich nutzbare Theil der Oeffnung des Objectivs repräsentirt wird, da der übrige Randtheil, von dem keine scharfen Bilder entstehen können, eher als schädlich denn als nutzbar anzusehen ist. Dies wird aber durch Wenham's Methode ermöglicht. Wenn man nach derselben das vor dem Oculare entstandene Flammenbildchen durch eine Linse betrachtet, so wird dieses vollkommen scharf und in seiner wahren Gestalt sich darstellen, so lange es durch jenen Theil des Objectivs hervorgebracht wird, worin die Aberrationen gehörig verbessert sind. Ein Objectiv wird also um so besser sein, einen je grössern Bogen das zur Messung gebrauchte Mikroskop beschreiben kann, ohne dass das Bildchen der Flamme etwas von seiner Schärfe verliert. Wird dasselbe aber beim weitern Drehen des Instruments immer undeutlicher, nebelartig und verbogen, so ist dies ein Beweis, dass die Randtheile der Linsen einen schädlichen Einfluss darauf ausüben und dass es mithin besser sein würde, die Oeffnung so weit zu verkleinern, dass jene durch die Randtheile gehenden Strahlen ausgeschlossen bleiben. So finde ich z. B. bei einem Linsensysteme, welches einen Oeffnungswinkel von 148° hat und selbst bei 150° noch einen Lichtschein durchlässt, dass die eigentlich nutzbare Oeffnung nur 120° beträgt, da nur innerhalb der hierdurch umschlossenen Grenzen die Flamme scharf und rein erscheint.

Noch eine andere Methode habe ich hier wenigstens im Vorbeigehen zu erwähnen, da sie auf einem falschen Principe beruht, nämlich jene von Gillett (*Philos. Magaz.* 1854, Mai, p. 368) empfohlene. Dieser nimmt zwei horizontalliegende und mit den Objectivsystemen einander

zugewandte Mikroskope. An dem einen ersetzt er das Ocular durch einen Hohlkegel und davor stellt er die Flamme einer Lampe; das Licht tritt dann durch das Objectiv nach aussen, und nach erfolgter Kreuzung im Vereinigungspunkte der Strahlen breitet es sich zu einem Lichtkegel aus. Diesen Lichtkegel fängt er im andern Mikroskope auf, welches um eine verticale Axe gedreht werden kann, wie bei der Methode von Lister. Der durchlaufene Bogen, worin das Gesichtsfeld erleuchtet ist, soll dann das Maass für den Oeffnungswinkel des Objectivsystems abgeben, durch den das Licht eingefallen ist. Wenham hat hiergegen mit Recht angeführt, dass man auf solche Weise zu ganz unrichtigen Resultaten kommt und dass man dadurch eher ein Maass für die Oeffnungswinkel beider Objectivsysteme zusammen erhält. Später hat Gillett seine Methode zwar insofern verbessert, dass er abwechselnd die rechte oder die linke Hälfte vom Objectiv seines Messmikroskops mittelst eines davor gehaltenen Deckelchens abschliesst, je nachdem rechts oder links von der Axe gedreht wird; viel sicherer würde es aber sein, wenn ein Deckelchen mit einem engen Spalt benutzt würde.

Sicher würde man auch das Objectiv und das Ocular ganz weglassen und blos ein Rohr nehmen können, an dessen Ende eine Platte mit einem verticalen Spalte sich befindet. Wird diese in einem Kreisbogen bewegt, so wird noch Licht durch den Spalt fallen, so lange sich dieser innerhalb des Lichtkegels befindet. Ein entsprechender Apparat würde sich ohne sonderliche Mühe herstellen lassen. Auch noch auf andere Weise lässt sich dieses Ziel erreichen. Auf einem Blatt Papier oder auf einer Messingplatte wird ein Halbkreis gezogen und in Grade eingetheilt, so dass die Enden des Bogens auf den Vorderrand fallen. Zwischen einige aus dünnen Metalldrähten bestehende und längs des getheilten Bogens vertical angebrachte Klammern kommt dann ein Streifen durchscheinendes Papier, so dass die Biegung des Papiers der Bogenkrümmung möglichst entspricht. Dieser kleine Apparat kommt aber auf eine Unterlage, die gerade so hoch ist, als die Axe des horizontalen Mikroskops und zugleich eine solche Stellung hat, dass der Mittelpunkt im Kreuzungspunkte der Strahlen befindlich ist. Dann wird genau die Hälfte des Lichtkegels auf das Schirmchen von durchsichtigem Papier fallen und die Grösse des Winkels lässt sich wirklich ablesen.

Wo es sich um den Oeffnungswinkel eines Linsensystems oder eines ganzen zusammengesetzten Mikroskops handelt, da wird man kein divergirendes künstliches Licht, sondern Sonnenlicht einfallen lassen, und dann hat man an den beiden letztgenannten Methoden ein Hülfsmittel, um auf directem Wege das Resultat zu erlangen, wozu man nach Robinson's Methode nur durch eine kleine Rechnung kommt. Dem Wesen nach laufen sie also auf das Nämliche hinaus. Der praktischen Anwendung bietet sich auch die gleiche Schwierigkeit dar durch die nicht scharfe Begrenzung des Lichtkreises, zumal bei Linsensystemen mit sehr grosser Oeffnung. Doch ist dies nicht sowohl ein Einwurf gegen die Methode,

als vielmehr die nothwendige Folge der Unvollkommenheit des Linsensystems selbst. Bei einem ganz vollkommenen Mikroskope würde der Lichtkegel fast gleich hell am Rande wie in der Mitte sein, und seine Grenzen würden sich somit leicht mit Genauigkeit bestimmen lassen. Diesem Grade von Vollkommenheit nähern sich unsere jetzigen Mikroskope nur dann, wenn Objective von ziemlich grosser Brennweite und mit einem kleinen Oeffnungswinkel genommen werden. Untersucht man stärkere Objective mit grösserem Oeffnungswinkel, so wird man in der Regel finden, dass die genaue Grenze mehr und mehr unbestimmt wird: die Mitte des Feldes ist am hellsten, und diese erhellte Mitte wird von einem weniger erleuchteten Rande umgeben, der sich weiterhin in das dunkele, gar nicht erleuchtete Feld verliert. Bei solchen Linsensystemen ist deshalb eine genaue Bestimmung der Grösse des Oeffnungswinkels nicht möglich. Die nämliche Schwierigkeit lastet aber in Wirklichkeit auf jeder anderen Methode, und es ist in der That lächerlich, wenn man, wie es Manche gethan haben, die Grösse des Oeffnungswinkels solcher Systeme bis auf Bruchtheile eines Grades angiebt. Auch nach Lister's Methode kann man nur bei nicht starken Objectiven mit ziemlicher Genauigkeit den Punkt bestimmen, bis zu dem das Mikroskop bewegt werden muss, wenn das Feld halberleuchtet erscheinen soll. Bei Systemen mit sehr grossem Oeffnungswinkel gelingt das nicht. Man sieht dann, wie das Gesichtsfeld allmälig dunkeler wird, bis zuletzt gar kein Licht mehr ins Mikroskop tritt. Dieses allmälige Abnehmen der Erleuchtung spricht schon für unregelmässige Brechungen und Reflexionen, die an den Rändern der Linsen stattfinden, gleichwie das Verdrehte und Nebelhafte der Bilder, was bei Wenham's Methode bemerkbar ist. Daher kommt es auch, dass Robinson, der seine Messungen in dem noch erleuchteten Theile des Gesichtsfeldes vornahm, bei Objectivsystemen aus den besten englischen Werkstätten den wirklich nutzbaren Oeffnungswinkel auffallend kleiner fand, als er sich nach Lister's Methode herausstellt, wie aus der nachfolgenden Zusammenstellung erhellt. Es war nämlich der Oeffnungswinkel bei

	Robinson	Lister
1/16 Engl. Zoll Brennweite.	110,8°	160°
1/12 " " "	109,3°	129°
1/12 " " "	114,6°	156°
1/12 " " "	122,8°	170°

Schliesslich ist also aus der vorhergehenden Untersuchung zu entnehmen, dass, wenn man die Grösse der Oeffnung von Linsensystemen

bestimmen will, es nicht allein darauf ankommt, dass man wisse, unter welchem Winkel noch Licht ins Mikroskop gelangen kann, sondern besonders auch darauf, wie gross die wirklich nutzbare Oeffnung ist. Dazu kann die Methode von Wenham wie jene von Robinson dienen, letztere jedoch mit noch mehr Sicherheit, weil man dabei mit Einem Blicke das ganze Lichtgebiet des Systems übersieht. Einen andern Vortheil gewährt sie auch noch dadurch, dass Unvollkommenheiten in den Gläsern des Objectivs, kleine Narben, Schrammen, Luftbläschen u. s. w. ihre Anwesenheit im Lichtfelde durch dunkele Stellen kundgeben.

Endlich will ich noch erwähnen, dass bei solchen Objectiven, die für Deckplättchen von verschiedener Dicke mit einem Correctionsapparate versehen sind, der Oeffnungswinkel verschieden ausfällt je nach der gegenseitigen Entfernung der beiden vorderen Linsen. Bei der geringsten Entfernung, die dann besteht, wenn das System für die dicksten Deckplättchen eingerichtet ist, hat man den grössten Oeffnungswinkel, und umgekehrt ist dieser am kleinsten, wenn beide Linsen am weitesten von einander abstehen beim Betrachten ganz unbedeckter Objecte.

Es muss dann drittens auf den Grad von Vollkommenheit in der 229
Politur der Oberflächen der Linsen und Spiegel geachtet werden, sowie auf die Homogeneität ihrer Masse.

In Betreff der Politur sind erheblichere Mängel schon mit blossem Auge oder unter einer Lupe zu erkennen. In den Objectiven eines zusammengesetzten Mikroskops treten diese Unvollkommenheiten am besten hervor, wenn man die einzelnen Doppellinsen als Oculare benutzt, besonders wenn das Gesichtsfeld durch ein sehr schwaches Lampenlicht beleuchtet wird. Nur selten wird es vorkommen, dass eine solche Linse die Probe vollkommen besteht, und sich nirgends eine Spur von Fleckchen oder Schrammen zeigt. Bei dieser Beurtheilung muss man aber einen Unterschied machen zwischen einer allgemein unvollkommenen Politur, die sich unter den genannten Umständen durch dicht bei einander liegende schattenartige Linien und Flecken verräth, wodurch das ganze Gesichtsfeld eingenommen und nebelartig gemacht wird, und zwischen den grösseren Unebenheiten, welche sich als dunkele Flecken und Streifen darin darstellen. Ist die Politur sonst gut, so schaden letztere in einem Objective viel weniger, als wenn die gesammte Politur unvollkommen ist, wenn auch tiefere narbenartige Flecken und Schrammen fehlen. Eine nur geringe Anzahl der letzteren ist in der That nicht sehr nachtheilig, da dem Bilde hierdurch nur ein kleiner Theil der zusammensetzenden Strahlen entgeht; eine Objectivlinse kann sogar gebrochen sein, ohne dass die Beobachtung dadurch sehr behindert wird. Dagegen fallen solche tiefere Narben und Schrammen bei den Ocularen und ebenso auch bei den Linsen, die als einfaches Mikroskop gebraucht werden, sogleich ins Auge, weil sie sich wegen der Nähe des Auges vergrössert darstellen. Es versteht sich aber von selbst, dass man sich bei

einer solchen Untersuchung hüten muss, zufällige Verunreinigungen der Gläser, wie kleine Stäubchen und Fäserchen, die auch als Schattenbildchen und Streifchen im Gesichtsfelde erscheinen, mit einer unvollkommenen Politur zu verwechseln.

230 Bekanntlich zeigen sich an dem zu optischen Zwecken bestimmten Glase, namentlich dem Flintglase, leicht die Folgen einer unvollkommenen Mengung in der Form von Adern oder Streifen (*striae*). Ist eine Linse mit solchen Unvollkommenheiten behaftet, dann passt sie nicht zu optischen Instrumenten, weil die verschiedenen Abschnitte des Glases ein ungleiches Brechungsvermögen besitzen und somit keine Möglichkeit vorhanden ist, dass durch solches Glas ein reines Bild zu Stande gebracht werde. Da indessen zu den Objectiven der Mikroskope so kleine Stückchen Flintglas erforderlich sind, so ist es wohl eher möglich, homogene Flintglaslinsen herzustellen, als dies bei den grossen Objectivgläsern von Teleskopen der Fall ist. Man hat daher bei Mikroskopen diese Unvollkommenheit nur wenig zu fürchten; man darf sich darauf verlassen, dass der Opticus nur reine, von Streifungen ganz freie Stückchen Glas zum Schleifen der Linsen verwendet haben wird. Mir ist wenigstens diese Unvollkommenheit in mikroskopischen Objectivlinsen noch nicht vorgekommen. Einmal sah ich sie in ziemlich starkem Maasse in einer Flintglaslinse, die mit einer Kronglaslinse zusammen das Ocular eines ältern Mikroskops bildete. Man sah die Streifungen schon gleich mit blossem Auge, noch deutlicher aber traten sie hervor bei Beleuchtung mit einem schwachen Lampenlichte; ich zweifele daher nicht, dass eine solche Unvollkommenheit in einer kleinen Objectivlinse sich auf diese Weise und zugleich auch durch eine Unreinheit des Bildes werde zu erkennen geben.

231 Häufiger, als diese Streifen, beobachtet man kleine Luftblasen. Grössere noch leicht mit blossem Auge wahrnehmbare braucht man freilich nicht zu fürchten; sicherlich werden zum Schleifen von Linsen nur solche Glasstücke genommen werden, worin dergleichen nicht vorkommen. Hingegen ist es gar nichts Seltenes, dass man in Linsen, sogar aus den ersten Werkstätten, kleine Luftbläschen antrifft, die sich nur durch eine genaue Untersuchung zu erkennen geben. Verwendet man solche Linsen bei schwacher Beleuchtung als Oculare, dann stellt sich jedes Luftbläschen als ein dunkeler runder Fleck dar. Am deutlichsten treten sie aber hervor, wenn man die Linse bei mässiger Vergrösserung und bei durchfallendem Lichte betrachtet; jedes Luftbläschen erkennt man dann leicht an dem breiten scharf begrenzten schwarzen Rande und dem hellen mittlern Theile. Das Vorkommen von Luftbläschen gehört natürlich immer zu den Unvollkommenheiten der Linsen; indessen schaden ein paar ganz kleine, die nur durchs Mikroskop wahrnehmbar sind, nicht besonders, wenn sie in den Objectivlinsen sich befinden. Der Nettigkeit

und Schärfe des Bildes geschieht dadurch nicht der geringste Abbruch; die Strahlen erfahren aber eine starke seitliche Abweichung durch diese Bläschen, ganz so, als wären es dunkele Linsentheile, und somit verkleinert sich durch sie der nutzbare Theil der Linsenöffnung. In Ocularlinsen, zumal im eigentlichen Oculare, und beim Ramsden'schen Oculare in beiden Gläsern ist die Anwesenheit von Luftblasen weit hinderlicher, als in den Objectivlinsen, da sie wegen der Nähe des Auges hier sogleich als dunkele Fleckchen im Gesichtsfelde wahrgenommen werden.

Die bisher genannten Mängel der Linsen können schon bei solchen 232
vorkommen, die nur eben die Werkstätte verlassen haben; es giebt aber auch noch andere, die erst im Verlaufe der Zeit entstehen und mit jenen nicht zusammengeworfen werden dürfen. Die Reinheit der Linsenoberfläche kann nämlich auf mehr denn Eine Art leiden, durch mechanische und durch chemische Ursachen. Die beste Politur kann mit der Zeit durch Ritzen verdorben werden, die durch unvorsichtige Behandlung entstanden, besonders wenn scharfe Substanzen zum Reinigen genommen wurden; oder es können Flüssigkeiten oder Dämpfe nachtheilig auf die Oberfläche einwirken, wenn sie damit in Berührung kommen und, wie z. B. Hydrothionsäure, auf einzelne Bestandtheile des Glases, namentlich bei Flintglas, einen chemischen Einfluss üben.

Wenn aber auch keiner der gewöhnlichen schädlichen Einflüsse die Linsen trifft, dieselben vielmehr immer mit der grössten Sorgfalt behandelt werden, so können nichtsdestoweniger noch Mängel daran auftreten, bei deren Betrachtung wir einige Augenblicke verweilen müssen.

Wenn Mikroskope eine geraume Zeit hindurch nicht gebraucht worden sind, so wird man die Oberfläche der Gläser immer mehr oder weniger matt finden. Oftmals rührt dies blos von lose anhängenden Molekeln her, die sich mittelst eines Pinsels oder eines feinen Leinwandläppchens leicht wegwischen lassen. Auch kommt nicht selten ein eigener Schimmel, *Hygrococis fenestralis* Kütz., an der Oberfläche von Linsen, wie von Glas im Allgemeinen vor, der sich meistens ohne Mühe abwischen lässt. Manchmal hängt aber der Staub oder der Schimmel so genau mit dem Glase zusammen, dass einfaches Abwischen nicht ausreichend ist. Man kann dann mit Wasser benetzen, und wenn dieses nicht hilft, mit Alkohol, der aber nicht in das mit Canadabalsam erfüllte Interstitium der Linsen eindringen darf. Gelingt es auch nach wiederholten Versuchen, die aufliegende Schicht zu entfernen, so findet man doch nicht selten, dass die Linsenoberfläche noch etwas matt bleibt, weil sie verwittert ist. Man erkennt dies nicht allein an der unvollkommenen Durchsichtigkeit, sondern bei auffallendem Lichte erscheinen auch dünne Schichten gefärbt, besonders deutlich, wenn man die Linse durchs Mikroskop betrachtet, wobei man zugleich wahrnimmt, dass ihre Oberfläche etwas rauh und schieferartig ist.

Hat sich dieser Linsenfehler in etwas stärkerem Grade entwickelt,

so wird die Linse dadurch ganz unbrauchbar und nur durch frisches Schleifen und Poliren wiederum benutzbar. Ohne mich über die Art dieses Fehlers in genauere Erörterungen einzulassen, will ich auf die Preisschriften von Muncke und Frauenhofer (*Natuurk. Verhandl. van de Holl. Maatsch. der Wetensch. te Haarlem* 1820. X. p. 93 u. 137) verweisen, wo sich viele interessante betreffende Thatsachen zusammengestellt finden. Ich bemerke hier blos, dass man als Hauptursache dieses Unscheinbarwerdens die Neigung mancher Glassorten anzusehen hat, Wasserdünste auf ihrer Oberfläche zu verdichten, wodurch ein viel stärkeres Anhaften der zufällig darauf vorhandenen Molekeln entsteht, die nach einiger Zeit so innig wird, dass es nicht möglich ist, dieselben wiederum zu entfernen, ohne zu gleicher Zeit die äusserste Schicht der Glasoberfläche mit wegzunehmen.

Diese Attractionskraft des Glases für den in der Luft enthaltenen Wasserdunst ist manchmal sehr stark entwickelt. So gehört z. B. zum Beleuchtungsapparate des Mikroskops eines meiner Freunde eine Linse, die in so hohem Grade mit diesem Fehler behaftet ist, dass ihre Oberfläche fast anhaltend befeuchtet sich darstellt. Diese Eigenschaft ist aber vorzugsweise, wenn nicht allein, von der chemischen Zusammensetzung der Glasmasse bedingt. Im Besonderen wird sie durch einen zu grossen Kaligehalt befördert, während sie sich durch einen Zusatz von Kalk oder von einem Metalloxyde vermindert. Daher kommt es auch, dass Flintglas weniger an diesem Fehler leidet, der dagegen häufiger bei anderen Glassorten angetroffen wird*).

Hat sich dieser Fehler einmal gebildet, so ist er schwer zu beseitigen. Es giebt aber Mittel, ihn entfernt zu halten, und dazu gehört vor Allem ein sorgfältiges Reinhalten der Linsenoberflächen. Viele hegen die Meinung, es sei den Linsen schädlich, sie immer von Staub zu reinigen; sie fürchten durch das Reinigen der Politur Eintrag zu thun, und benutzen höchstens einen Pinsel zum Abstreifen der Oberflächen. Diese Besorgniss beruht gewiss nur auf einem Irrthume. Ein wiederholtes, ja tägliches Abwischen der Linsen mit einem weichen halbverbrauchten Leintuche schadet demselben nicht im mindesten, während die darauf liegen bleibenden Staubtheilchen auf die Dauer sehr nachtheilig einwirken.

Die erste Regel also, um jenes Anlaufen der Linsen zu verhüten, ist die, dass man sie gehörig rein hält. Dies gilt nicht blos für ein Mikroskop, welches viel gebraucht wird, sondern auch für ein solches, wo-

*) Dem scheint es einigermaassen zu widersprechen, dass bei den Objectiven der Teleskope dieses Unscheinbarwerden in der Regel zuerst an der Oberfläche der Flintglaslinse beobachtet wird. Vielleicht kommt dies daher, dass bei Teleskopen die Flintglaslinse nach innen befindlich ist und deshalb selten abgewischt wird. Bei Mikroskopen, wo die Flintglaslinse des Objectivs nach auswärts gekehrt ist, habe ich diese noch niemals unscheinbar angetroffen, wohl aber die Oberfläche der Kronglaslinse, die vermöge ihrer Lage schwerer zu reinigen ist.

mit nur selten Beobachtungen angestellt werden. Man glaube nur nicht, dass ein noch so gut schliessendes Kästchen die Linsen vor der Feuchtigkeit der Luft oder vor dem in der Luft schwebenden Staube schützt. Vom Gegentheile kann man sich an Mikroskopen überzeugen, die einige Jahre lang nicht in Gebrauch gezogen wurden. Ungeachtet des besten Schlusses werden die Linsen mit einer Staubschicht bedeckt sein, die sich oftmals zwar mit Leichtigkeit entfernen lässt, unter der aber auch wohl eine ganz unscheinbar gewordene Oberfläche zum Vorschein kommt.

Muncke wie Frauenhofer haben Mittel angegeben, wodurch der Neigung des Glases zu diesem Fehler begegnet werden soll. Muncke empfiehlt, die Oberfläche des Glases mit einer dünnen Oelschicht zu bedecken. Am besten nimmt man dazu ein mit etwas Terpentinöl befeuchtetes Tuch, und nachher wischt man die Linse mit einer trockenen Partie des Tuches so ab, dass keine Spur vom Oele mehr übrig bleibt. Es wird dann immer noch eine ganz dünne Schicht zurückbleiben, die nicht ganz verfliegt, sondern durch Einwirkung der Luft schnell harzartig wird, und aus den Beobachtungen Waideler's (Poggendorff's Annal. 1843. Bd. 59. S. 255) über das Vermögen der Oberflächen, Dämpfe zu condensiren, erklärt es sich, wie eine mit einer ganz dünnen Oel- oder Harzschicht bedeckte Oberfläche der Anziehung gegen den Wasserdunst verlustig wird.

Das von Frauenhofer vorgeschlagene Mittel soll die chemische Zusammensetzung der obersten Glasschicht verändern, derselben nämlich einen Theil des im Uebermaass vorhandenen Kali entziehen. Zu dem Ende soll man die Linsen ein paar Stunden in Schwefelsäure legen. Nach seinen Angaben ist es aber gerathen, keine zu starke Schwefelsäure dazu zu nehmen, sondern eine mit dem gleichen Gewichte Wasser verdünnte, da sehr concentrirte Schwefelsäure, wie die Nordhäuser, die Oberfläche augenblicklich angreift, den Glanz vermindert und ein ähnliches Angelaufensein zu Stande bringt, wodurch dünne Schichten ebenfalls gefärbt erscheinen. Zugleich hat man darin ein Mittel, die Geneigtheit einer Glassorte zum Verwittern zu entdecken; denn nach Frauenhofer wird Glas in gleichem Verhältniss durch starke Schwefelsäure angegriffen, als es zur Entwickelung jenes Fehlers disponirt ist.

Von anderer Art als der eben betrachtete Fehler, wegen der Gleich- 233
heit der Wirkung aber leicht damit zu verwechseln, ist ein zuweilen bei achromatischen Doppellinsen vorkommender Fehler, der darin besteht, dass sich in der Schicht von Canadabalsam zwischen beiden Linsen kleine Krystalle absetzen.

Bringt man eine solche Linse unters Mikroskop, so erkennt man diesen Fehler leicht an dem Sitze sowohl, als an den genannten kleinen Krystallen. Das Aussehen der letzteren ist aber nicht immer das gleiche, vielmehr verschieden je nach der Dicke der Schicht, in welcher sie sich gebildet haben. Nach meiner Erfahrung kommen drei Hauptformen vor,

die man nicht selten vereinigt antrifft, weil die gewölbte Oberfläche der Kronglaslinse nicht immer genau an die concave Oberfläche der Flintglaslinse anschliesst, die Dicke der Balsamschicht also am Rande eine andere ist als in der Mitte. Die erste Form sind ziemlich regelmässige sechseckige Täfelchen oder kurze mit den Endflächen der Glasoberfläche zugekehrte Prismen, die entweder einzeln da sind, oder gruppenweise zusammen liegen. Diese am stärksten entwickelte Form kommt da vor, wo die Balsamschicht am dicksten ist. Die zweite mehr verbreitete Form sind dendritische Figuren, bald mehr gefiedert, wie die bekannte Salmiakkrystallisation, bald mehr sternförmig, mit einem grössern sechseckigen Kernkrystalle in der Mitte, von wo aus die Astbildung sich weiter ausgebreitet zu haben scheint. Als dritte Form endlich nimmt man da, wo die Balsamschicht sehr dünn ist, runde oder elliptische Ringe wahr, die aus ganz kleinen Krystallkörnchen bestehen, während in der Mitte in der Regel ein etwas grösserer Krystall oder auch mehrere grössere Krystalle sich befinden. Diese drei Hauptformen kommen sodann noch in verschiedenen Uebergängen vor, wodurch es deutlich wird, dass ihrem Entstehen nur äussere Umstände zu Grunde liegen, und die Substanz, die sich aus dem Canadabalsam absetzt, immer die nämliche ist.

Es lässt sich schwer mit einiger Genauigkeit angeben, was das für eine Substanz ist. Aus einer chemischen Einwirkung des Canadabalsams auf einen der Glasbestandtheile und einer Verbindung damit kann sie nicht entstehen; denn werden beide Linsen von einander getrennt und die mit dem Balsam bedeckten Oberflächen mit Alkohol oder Aether behandelt, so lösen sich alle Krystalle zugleich mit dem übrig gebliebenen Balsam auf, und die Glasoberfläche erscheint glatt und unangegriffen. Man muss deshalb annehmen, dass diese Krystallchen durch einen oder auch durch mehrere Bestandtheile des Canadabalsams selbst entstehen, vielleicht durch eine der darin enthaltenen Harzsäuren *).

Die wesentliche Ursache dieses Linsenfehlers liegt also im Canadischen Balsame, dessen Einschiebung aber zu viele Vortheile darbietet, als dass man ihn deshalb weglassen sollte, zumal das Entstehen dieser Krystalle keineswegs die nothwendige Folge davon ist. Bei vielen achromatischen Doppellinsen habe ich nach 10 bis 12 Jahren noch keine Spur dieser Krystallbildung entdecken können, während sie sich bei manchen anderen, die erst später angefertigt worden waren, in grosser Menge

*) Für diese letztere Annahme spricht, was mir durch meinen Collegen van Rees mitgetheilt worden ist, dass nämlich die Seeofficiere, wenn dieser Fehler in den Objectiven ihrer Teleskope sich zeigt, etwas Pulver aufstreuen und abbrennen, wodurch die Trübung in der Regel verschwinden soll. Wenn ich nun auch dieses heroische Mittel bei Mikroskopobjectiven nicht anrathen mag, so lässt sich doch wohl seine Wirkung auf die Wärmeentwickelung aus dem abgebrannten Pulver reduciren, wodurch die kleinen Krystalle geschmolzen werden, so dass sie sich wieder mit der übrigen Masse vermischen oder wenigstens in eine durchsichtige Schicht umgewandelt werden.

zeigten. Dies rührt wahrscheinlich von der Art des benutzten Canadabalsams her, der bekanntlich in mehreren Sorten in den Handel kommt, die selbst verschiedenen Ursprungs sind. Wünschenswerth wäre es, dass eine chemische Untersuchung über diesen für die praktische Optik so wichtigen Punkt etwas mehr Licht verbreitete.

Zur Verbesserung dieses Fehlers bietet die bereits erwähnte Löslichkeit in Alkohol und Aether ein bequemes Mittel. Hat man die Linsen auseinander genommen, so kann man diese Krystallchen und damit auch die entstandene Trübung dadurch entfernen, und bringt man dann eine neue Schicht Canadabalsam zwischen die Linsen, so ist die Doppellinse wiederum gleich brauchbar wie früherhin. Es ist aber rathsam, dass man diese einige Sorgfalt erfordernde Arbeit einem geschickten Arbeiter überträgt, und zwar am besten einem solchen, der Mikroskope zu verfertigen pflegt.

Viertens kommt bei der Beurtheilung eines Mikroskops dessen 234
Lichtstärke in Betracht. Es ist aber hier jene Lichtstärke oder Helligkeit gemeint, welche nicht vom Beleuchtungsapparate abhängig ist. Freilich fällt es nicht schwer, durch lichtconcentrirende Linsen oder Hohlspiegel das Gesichtsfeld so stark zu erhellen, dass dieses dem Auge in zwei Mikroskopen gleich erhellt sich darstellt; aber gleichwohl kann das eine alsdann eine viel grössere Lichtstärke besitzen als das andere, da, wie bereits früher dargethan wurde, eine solche stärkere Beleuchtung der Objecte die fehlende wirkliche Helligkeit nicht zu ersetzen vermag. Auf diese Helligkeit oder Lichtstärke sind nun folgende Momente von Einfluss:

1) Die Oeffnung der Linsen oder Spiegel. Beim einfachen Mikroskope kommt dabei das Verhältniss zwischen dieser Oeffnung und der Pupillenöffnung in Betracht (§. 123); beim zusammengesetzten Mikroskope und beim Bildmikroskope nimmt diese Helligkeit im quadratischen Verhältniss des Durchmessers der Objective oder deren äquivalenter Linsen oder Spiegel zu.

2) Die Brennweite, weil bei gleicher Oeffnung aber kürzerer Brennweite auch der Oeffnungswinkel grösser ist, also ein grösserer Antheil der vom Objecte ausgehenden Lichtstrahlen in das Mikroskop tritt und zur Zusammensetzung des Bildes beiträgt. Da aber im Allgemeinen die Oeffnung der Linsen und Hohlspiegel mit deren Brennweite abnimmt, ohne dass eine entsprechende Zunahme des Oeffnungswinkels damit parallel geht, so folgt hieraus, dass mit der Verkürzung der Brennweite oder, was ja daraus folgt, mit der Zunahme der Vergrösserung in der Regel auch eine Abnahme der Lichtstärke sich vergesellschaftet. Vergleicht man verschiedene Mikroskope in dieser Beziehung unter einander, so muss dies wohl im Auge behalten werden.

3) Die zur Erzeugung der Bilder benutzten Mittel, die entweder katoptrische oder dioptrische sein können. In dem Kapitel über katop-

trische und katodioptrische Mikroskope ist darüber ausführlich gehandelt und dargethan worden, dass sie, wenn sonst auch alle Umstände gleich sind, in Lichtstärke den dioptrischen Mikroskopen nachstehen.

4) Die Menge der reflectirenden Oberflächen bei Linsen oder bei Spiegeln. Je geringer die Zahl dieser Reflexionsflächen ist, um so grösser ist bei sonst gleichen Umständen die Menge der Strahlen, welche ins Auge gelangen.

5) Endlich der Politurgrad der Linsen und Spiegel, und die Homogeneität der Substanz, woraus erstere bestehen, worüber das Nöthige im §. 229 mitgetheilt worden ist.

Wird auf diese verschiedenen Punkte Rücksicht genommen und jeder einzeln nach den gegebenen Vorschriften an einem Mikroskope untersucht, so hat man in der That alle Daten beisammen, um dessen Lichtstärke zu beurtheilen. Eine directe Bestimmung durch photometrische Mittel ist schwierig, weil diese Mittel noch sehr unvollkommen und hier wenigstens nicht recht anwendbar sind. Will man indessen verschiedene Instrumente mit einander vergleichen, dann kann man so verfahren, wie es Tulley für Teleskope und nach diesem Goring (*Micrographia* p. 114) für Mikroskope empfohlen hat. Es werden nämlich die zu vergleichenden Mikroskope Abends dem nämlichen Punkte des Himmels zugekehrt. Zu dem Ende muss der Beleuchtungsapparat weggenommen und das Rohr selbst in die erforderliche Stellung gebracht werden, oder wenn man die verticale Stellung beibehält, so muss durch flache Spiegel das Licht aufgefangen und reflectirt werden. Jenes Mikroskop nun, worin das Bild eines im Gesichtsfelde befindlichen Objects bei zunehmender Dunkelheit am frühesten verschwindet, besitzt natürlich die geringste Lichtstärke.

Ueber die Einrichtung des Beleuchtungsapparates im Allgemeinen braucht deshalb hier nicht in Einzelnheiten eingegangen zu werden, weil die nöthigen Anweisungen zur Beurtheilung seiner Zweckmässigkeit schon in dem speciell darüber handelnden Kapitel verzeichnet sind. Ich bemerke demnach hier blos, dass sie eine hinlängliche Verstärkung in der Beleuchtung des Gesichtsfeldes bei durchfallendem Lichte gestatten muss, um selbst bei einem dunkel bewölkten Himmel eine 400- bis 500-malige Vergrösserung noch bequem beobachten zu können. Nach Mohl's Vorschlag kann man dabei jenen Grad von Helligkeit, den gewöhnliches weisses Papier beim Tageslichte gewährt, als Maassstab benutzen. Für auffallendes Licht muss man die Grenzen nicht so weit ausdehnen; auch kommt man selten in den Fall, dieses bei einer Vergrösserung anzuwenden, welche über 200 bis 300 Male hinausgeht.

Einen Punkt will ich aber hier nicht mit Stillschweigen übergehen, nämlich die Färbung des Gesichtsfeldes bei durchfallendem Lichte. Wird weisses Licht, wie es gewöhnlich durch eine weisse Wolke reflectirt wird, zur Beleuchtung benutzt, dann kann das Gesichtsfeld natürlich nur in weisser Färbung sich darstellen, sobald alle Strahlen in gleichem

Maasse durchgelassen oder reflectirt werden. Das ist aber keineswegs immer vollkommen der Fall. Bei manchen Mikroskopen nimmt man selbst eine sehr merkliche Farbennüance wahr, die sich dann auch den dadurch wahrgenommenen Bildern der Objecte mittheilt. Bereits früher (§. 174) ist angeführt worden, dass das Gesichtsfeld der katadioptrischen Mikroskope eine bräunliche Farbe hat, während es bei dioptrischen Mikroskopen nicht selten gelblich, grünlich oder bläulich ist. Es ist diese Färbung oftmals so schwach, dass sie der Beobachtung entgeht, bis man nach einander durch zwei Mikroskope sieht, die eine entgegengesetzte Färbung hervorbringen. Der Grund derselben in den zusammengesetzten dioptrischen Mikroskopen ist nicht schwer nachzuweisen. Das Kronglas hat in der Regel etwas Bläuliches oder Grünliches, das Flintglas oftmals etwas Gelbliches; je nachdem nun eine von diesen Farben überwiegt, wird das Gesichtsfeld eine entsprechende Nüance annehmen.

Wenn auch die Schärfe der Bilder nicht darunter leidet, so ist doch diese Färbung immer als ein Fehler anzusehen, weil man dabei der Gefahr ausgesetzt ist, über die wahre natürliche Färbung der Objecte sich zu irren. Zumal die gelbe Färbung ist sehr hinderlich, wie ich aus Erfahrung weiss, da eins von den Mikroskopen, die ich gewöhnlich benutze, mit diesem Färbungsfehler behaftet ist. Das Grünliche oder Bläuliche ist dem Auge nicht so unangenehm. Jeder Beobachter wird aber wohl daran thun, wenn er sein Mikroskop in dieser Beziehung genau prüft, um Irrthümern vorzubeugen, die besonders dann eintreten könnten, wenn chemische Reagentien unterm Mikroskope angewendet werden, z. B. Salpetersäure, um die Anwesenheit von Protein aus der gelben Farbe der Xanthoproteinsäure zu erschliessen, oder Jod und Schwefelsäure, um aus der blauen Färbung die Anwesenheit von Cellulose zu erkennen.

Ein Punkt von der höchsten Wichtigkeit beim Anfertigen aller optischen Instrumente ist die genaue Centrirung, welche darin besteht, dass bei einer einfachen Linse die optische Axe genau durch die Mitte beider Oberflächen geht, bei zusammengesetzten Instrumenten aber die Axen aller Linsen und Spiegel, welche dazu gehören, in der nämlichen geraden Linie liegen. Diese genaue Centrirung ist aber auch eine recht schwere Aufgabe, namentlich wegen der Kleinheit der Linsen, die beim Mikroskope in Anwendung kommen. Noch schwieriger wird die Aufgabe, wenn die Linsen zu Doppellinsen, und diese wieder zu Systemen vereinigt werden. Denn wenn auch alle die verschiedenen Doppellinsen mit der grösstmöglichen Genauigkeit hergestellt und ihre Abstände vollkommen so eingerichtet sind, dass es zur vollständigen Aufhebung der Aberrationen kommt, so wird doch offenbar das durch ein solches Linsensystem entstehende Bild niemals ein scharf begrenztes sein können, sobald die Centrirung unvollkommen ist. Eine geringe Abweichung muss hier nothwendiger Weise schon sehr nachtheilige Folgen haben. Geringere Folgen hat es, wenn in einem zusammengesetzten Mikroskope die 235

Axe des Oculars nicht ganz mit jener des Objectivs zusammenfällt, weil das durch letzteres erzeugte Bild gewöhnlich einen grösseren Raum einnimmt, als für das Gesichtsfeld des Oculars erforderlich ist, welches nach einander über verschiedene Punkte des Bildes gebracht werden kann, die man bei gleichzeitiger Veränderung des Abstands zwischen Objectiv und Object mit ziemlich gleicher Schärfe wahrnehmen kann. Davon kann sich jeder die Ueberzeugung verschaffen, der ein Ocular etwas zur Seite der Axe über dem Mikroskoprohre hält. Sind dagegen die Gläser des Oculars nicht gehörig unter einander centrirt, dann muss auch in dem zur mittleren Sehweite projicirten Scheinbilde die nämliche Verwirrung entstehen, wie in dem ursprünglichen Bilde durch ein nicht gehörig centrirtes Objectivsystem.

Die Hauptsache ist demnach, dass zuerst jede einzelne Linse und Doppellinse genau centrirt ist, sodann aber auch die zusammensetzenden Linsen der verschiedenen Systeme, beim zusammengesetzten Mikroskope also jene der Objective sowohl als der Oculare, gehörig unter einander centrirt sind.

So schwer das Centriren an sich ist, fast eben so schwierig ist es, sich durch den Versuch von dessen Genauigkeit zu überzeugen. An grösseren Linsen, die nicht gefasst sind, kann man sich davon überzeugen, wenn der Rand der Linse überall gleich dick ist. Bei Linsen von kleinem Durchmesser und bei solchen, die schon in Ringe oder Röhrchen gefasst sind, muss man andere Mittel anwenden. In den optischen Werkstätten ist nach Prechtl (*Praktische Dioptrik* §. 69) folgendes Verfahren gebräuchlich, das zwar hauptsächlich für das Centriren der Teleskopengläser bestimmt ist, aber grösstentheils auch auf Mikroskope Anwendung finden kann. Die Linse wird dergestalt auf einer Drehbank befestigt, dass sie so viel möglich centrisch steht, und dann stellt man in einiger Entfernung davon eine Kerze auf. Die Flamme der Kerze wird durch beide Oberflächen der Linsen reflectirt, so dass man zwei Bilder gewahrt; es fällt aber nicht gerade schwer, es dahin zu bringen, dass beide genau auf einander fallen, oder dass das kleinere sich in der Mitte des grösseren befindet, wenn man die Flamme hin und her bewegt, bis man den Punkt ausfindig macht, wo dieses eintritt. Ist nun die Entfernung der Flamme ziemlich gross, dann werden die Bilder zu leuchtenden Punkten, und misst man von da aus, wo sich der leuchtende Punkt an der vorderen Oberfläche zeigt, die Entfernung bis zum Umfange (was daher auch ohne die Befestigung auf die Drehbank geschehen kann), so muss diese Entfernung überall durchaus die nämliche sein. Noch genauer fällt übrigens der Versuch aus, wenn man die Linse auf der Drehbank sich herumdrehen lässt: die Centrirung ist dann genau, wenn beide einander deckende Bildchen unverändert dieselbe Stelle einnehmen.

Will man die Centrirung der Oculare und Objectivsysteme eines zusammengesetzten Mikroskops untersuchen, so kann man auf folgende Weise verfahren. Irgend ein kleines Object, z. B. ein Schüppchen von

einem Schmetterlingsflügel, bringt man in der gehörigen Entfernung unter das Mikroskop und zwar so, dass das eine Ende desselben den Rand des Gesichtsfeldes oder den Kreuzungspunkt zweier im Ocular ausgespannten Fäden berührt, hierauf aber dreht man nach einander die verschiedenen Linsen um ihre Axe mittelst der Schrauben, die zu ihrer Befestigung dienen. Ist die Centrirung genau, so wird jenes Bild, das wegen des veränderten relativen Abstandes der Linsen etwas an Schärfe verliert, doch immer die nämliche Stelle im Gesichtsfelde einnehmen; bei ungenauer Centrirung dagegen erleidet dasselbe während der Linsenumdrehung eine Ortsveränderung im Gesichtsfelde, so dass der ursprünglich mit dem Rande in Berührung stehende Theil sich bald innerhalb, bald ausserhalb desselben befindet.

Unterwirft man Mikroskope dieser Prüfung, so wird man wohl niemals eins antreffen, welches dieselbe durchaus vollkommen zu bestehen vermag. Namentlich gilt dies von den das Objectiv zusammensetzenden Linsen. Man darf nämlich nicht vergessen, dass jede Abnormität einer genauen Centrirung beim Umdrehen sich genau so viel Mal vergrössert, als das Object selbst, welches durchs Mikroskop beobachtet wird. Eine Differenz von $^1/_{100}$ mm wird daher bei einer 500maligen Vergrösserung im Bilde sich als eine Differenz von 5 mm darstellen. Hieraus ergiebt sich aber, dass selbst bei der sorgsamsten Bearbeitung stets Mängel in der Centrirung verbleiben müssen, die sich auf die genannte Weise kund geben. Das Einzige, was man billiger Weise erwarten kann, besteht darin, dass diese Mängel auf ein möglichst geringes Maass zurückgebracht sind.

Hieraus ergiebt sich zugleich Folgendes. Wenn zwei Linsensysteme gleich sorgfältig centrirt sind, so dass die Abstände der optischen Axen der verschiedenen Linsen in beiden Systemen ganz gleich sind, dann wird der Einfluss dieses Abstandes oder mit anderen Worten der Mangel der Centrirung am stärksten in jenem Systeme hervortreten, welches die kürzeste Brennweite und mithin die stärkste vergrössernde Kraft hat. Ohne Zweifel liegt darin eine der vorzüglichsten Ursachen, warum stark vergrössernde Systeme den weniger vergrössernden in Betreff des begrenzenden Vermögens stets nachstehen.

Ich muss noch bemerken, dass durch die Einrichtung, welche jetzt vielfältig den Objectivsystemen gegeben wird, indem man nämlich die verschiedenen Doppellinsen fest unter einander vereinigt, was in der That auch manche nicht zu verkennende Vortheile hat (§. 158), die Prüfung auf genannte Weise in der Regel unmöglich gemacht wird. Bemerkt man aber an einem solchen Systeme bei der Beobachtung von Objecten Spuren eines unvollkommenen begrenzenden und durchdringenden Vermögens, und hat man sich zugleich durch vorgängige Prüfung davon überzeugt, dass dies keiner der übrigen im §. 225 aufgezählten Ursachen beigemessen werden kann, so kommt man dann auf negativem Wege zu dem Schlusse, dass wahrscheinlich die Centrirung eines solchen Systems

nicht genau genug ist, es sei denn, der Fehler liege bereits in den Doppellinsen selbst, oder es wäre auf deren Vereinigung nicht die gehörige Sorgfalt verwendet worden, was in einem solchen Falle schwer mit Bestimmtheit ausgemacht werden kann und was auch nur dem Optikus selbst zu wissen von Nutzen ist, dem während der Zusammensetzung Mittel genug zu Gebote stehen, um sich von der Genauigkeit der Centrirung zu überzeugen.

236 Als sechster Punkt, worauf bei der Untersuchung eines Mikroskops geachtet werden muss, wurde oben die Ausdehnung des Gesichtsfeldes und der Grad seiner Ebenung bezeichnet.

Was den ersten Punkt betrifft, so sind oben (§. 221) bereits die Methoden angegeben, wie sich der scheinbare sowohl als der wahre Durchmesser des Gesichtsfeldes bestimmen lässt, und noch weiter oben (§. 121) sind die Ursachen angegeben worden, von denen die Grösse des Gesichtsfeldes beim einfachen Mikroskope abhängt. Beim zusammengesetzten Mikroskope wird seine Ausdehnung allein durch das Ocular bestimmt, sobald wenigstens, wie es doch fast immer der Fall ist, die Länge des Rohres, d. h. die Entfernung zwischen Objectiv und Ocular, gross genug ist, damit das durchs Objectiv entstehende Bild einen grösseren Raum einnimmt, als man durchs Ocular zu übersehen im Stande ist.

Von einem ganz ebenen Gesichtsfelde kann nur bei einem zusammengesetzten dioptrischen Mikroskope (§. 152), so wie bei einem katadioptrischen die Rede sein, wenn beide mit einem Huygens'schen Ocular versehen sind. Das beste Hülfsmittel, ein Mikroskop in dieser Beziehung zu untersuchen, ist ein in viereckige Felder getheiltes Glasmikrometer, welches als Object dient. Ist das Gesichtsfeld ganz eben, dann wird das Mikrometer so wie in Fig. 51 (S. 96) sich darstellen; ist dagegen, wie es in der Regel geschieht, der Einfluss des Collectivglases zu gering, dann wird man an den viereckigen Feldern etwas auswärts gebogene Grenzlinien wahrnehmen wie in Fig. 52. Der Fall, dass das Objectivglas einen überwiegenden Einfluss ausübt, wo dann eine entgegengesetzte Krümmung gleichwie in Fig. 53 sich zeigen müsste, kommt wohl selten vor, da so etwas nur eintreten könnte, wenn die Brennweite des Collectivglases im Verhältniss zu jener des eigentlichen Oculars sehr kurz wäre, wodurch ebensowohl eine Abnahme der Vergrösserung als eine Zunahme der Aberrationen eintreten müsste.

Hat man kein in vierseitige Felder getheiltes Mikrometer, so kann man auch noch auf andere Weise erforschen, in wie weit die Krümmung der Bilder beseitigt ist. Besteht nämlich der Fehler, so wird jede Linie, die vollkommen gerade erscheint, wenn sie durch die Mitte des Gesichtsfeldes verläuft, sich nicht mehr so darstellen, sondern mehr und mehr gebogen verlaufen, je näher dem Rande des Gesichtsfeldes sie gebracht wird, wie aus Fig. 52 zu entnehmen ist. Aus derselben ersieht man auch, dass die Vergrösserung in der Mitte des Gesichtsfeldes eine

andere ist als an dessen Rande. Misst man daher ein Object mittelst Doppeltsehen, und man erhält am Rande des Gesichtsfeldes einen grösseren Durchmesser des Bildes, als in dessen Mitte, so darf man hieraus ebenfalls auf eine Krümmung des Gesichtsfeldes schliessen.

Eine bedeutendere Krümmung des Gesichtsfeldes ist immer als ein Fehler zu betrachten, weil man alsdann nur einen kleinen Theil des Objects auf Einmal mit Schärfe wahrnehmen kann, und weil auch zweitens das Bild immer etwas Verdrehtes hat, was von der wahren Gestalt des Objects abweicht. Gleichwohl wird man finden, dass selbst die besten Mikroskope mehr oder weniger mit diesem Fehler behaftet sind. Würde nämlich auch das Ocular dergestalt eingerichtet, dass vermöge der Brennweiten sowohl als des wechselseitigen Abstandes beider Gläser ein ganz ebenes Gesichtsfeld entsteht, so würden diese Verhältnisse doch nur höchst selten gleichzeitig auch die geeignetsten zum Aplanatismus des Mikroskops sein; und da es nun jedenfalls empfehlenswerther ist, wenn die Bilder wenigstens in einem Theile, namentlich in der Mitte des Feldes die grösstmögliche Schärfe besitzen, als wenn sie an allen Punkten desselben gleich gut, aber freilich mit einem geringeren Schärfegrade wahrgenommen werden können, so pflegen die Optiker bei der Herstellung von Mikroskopen die Ebenung des Feldes meistens zu opfern, um eine grössere Verbesserung der Aberrationen in der Mitte des Feldes zu erlangen. Man muss hierauf Bedacht nehmen, da aus diesem Grunde bei mühsamen Untersuchungen die Objecte immer vorzugsweise in die Mitte des Gesichtsfeldes gebracht werden müssen. Deshalb ist es aber auch wichtig, dass der Beobachter durch vorgängige Untersuchung seines Mikroskops sich davon überzeugt habe, bis wohin sich der Raum im Gesichtsfelde erstreckt, innerhalb dessen die Bilder noch keinen merkbaren Verlust an Schärfe und Deutlichkeit erfahren, und aus dem Mitgetheilten ergiebt es sich von selbst, dass dieser Raum in gleichem Maasse mit der Ebenung des Gesichtsfeldes zunimmt.

Wenn nach den dafür aufgestellten Vorschriften die Prüfung eines 237
Mikroskops ausgeführt wird, so lässt sich allerdings mit ziemlicher Sicherheit über dessen Tüchtigkeit und über die daran haftenden Mängel ein Urtheil fällen; gleichwohl ist eine directe Untersuchung des optischen Vermögens immer noch unerlässlich. Nach den früheren Auseinandersetzungen begreift dieses optische Vermögen drei Hauptmomente, nämlich die Vergrösserung, die Begrenzung und die Unterscheidung. Was die Vergrösserung anbelangt, so sind die nöthigen Vorschriften, um dieselbe zu bestimmen, schon in einem besondern Kapitel gegeben worden, und es ist hier nichts hinzuzufügen.

Ueber das begrenzende und unterscheidende Vermögen ist auch bereits (§. 222) gehandelt worden, und es wurden im Allgemeinen die Mittel angegeben, wie man ein Mikroskop auf dieselben zu prüfen hat; doch ist es nöthig, hier wenigstens noch in einige Einzelnheiten darüber einzu-

treten. Wenn auch sehr viele Objecte sich dazu eignen, das unterscheidende und begrenzende Vermögen eines Mikroskops zu prüfen, so ist doch die Anzahl derer gering, die mehr allgemein dazu gebraucht werden und diese Bevorzugung auch grossentheils verdienen. Diese Objecte hat man mit dem Namen Probeobjecte belegt, und es ist jedem mikroskopischen Beobachter anzuempfehlen, sich wenigstens mit einigen bekannt zu machen und die Art und Weise, wie sie sich durch ein gutes Mikroskop darstellen, dem Gedächtnisse einzuprägen, weil solche Kenntniss ihm einen ziemlich sichern und leicht anwendbaren Maassstab an die Hand giebt, um die Tüchtigkeit eines Mikroskops zu beurtheilen.

Unter diesen Probeobjecten verschafft man sich am leichtesten die kleinen Schüppchen, welche auf der Haut vieler Insecten, besonders auf den Schmetterlingsflügeln vorkommen. Bereits bei Leeuwenhoek (*Zevende vervolg der Brieven. Delft* 1702. *p.* 448) findet sich angegeben, dass auf den Flügelschüppchen vom Schmetterlinge der Seidenraupe eine Anzahl parallel laufender Streifen wahrzunehmen ist, die nur bei starker Vergrösserung sichtbar werden. Später hat man sich davon überzeugt, dass dergleichen Streifen auf den Schuppen fast aller Insecten vorkommen, deren Sichtbarkeit aber bei den verschiedenen Thieren differirt, so dass man damit eine Reihenfolge von Probeobjecten herstellen kann, worin die Schwierigkeit des Erkennens immer mehr zunimmt. Jacquin in Deutschland, besonders aber Goring in England haben auf ihre Brauchbarkeit für diesen Zweck hingewiesen und einige Insecten genannt, deren Schüppchen vor anderen dazu sich eignen; andere Autoren haben dann späterhin noch einige hinzugefügt.

Bevor ich zu deren Aufzählung übergehe, erachte ich es nöthig, über die allgemeine Beschaffenheit dieser Theile etwas zu sagen, weil daraus erklärlich wird, wie sie unter besondern Umständen sich darstellen, und weil sie zu mancherlei irrigen Ansichten Veranlassung gegeben haben, indem einfach optische Täuschungen als wirkliche Wahrnehmungen beschrieben wurden.

Die Insectenschuppen bestehen immer aus zwei Schichten, gleich den weit grösseren Schuppen der Fische, mit denen sie in der That die grösste Aehnlichkeit haben. Die obere oder äussere Schicht enthält eine Anzahl Streifen, die parallel verlaufen, oder aber divergirend, wenn der obere Rand des Schüppchens breiter ist als seine Basis; diese Streifen stellen sich bei hinlänglicher Vergrösserung als etwas erhabene Rippchen dar, welche durch zwei parallele Linien begrenzt werden. Man nennt sie Längsstreifen, weil sie von der Basis nach dem oberen Rande des Schüppchens verlaufen. Auf den Schmetterlingsschuppen bemerkt man daneben noch Querstreifen, die immer weit schwerer zu erkennen sind als die Längsstreifen und rechtwinkelig zu diesen stehen. Die Existenz dieser Querstreifen wird von Brewster (*Treatise on the Microscope p.* 179) geleugnet; nach ihm sollen an den Längsstreifen kleine Zähne vorkommen, gleichwie an den Fasern der Krystalllinse. Wirklich haben auch

diese Streifen bei einer gewissen Stellung des Mikroskops etwas Gezahntes. Da nämlich die Längsstreifen etwas erhaben sind im Verhältniss zu den unmittelbar damit zusammenhängenden Querstreifen, welche etwas abwärts gekrümmt sind, so geschieht es, dass bei einer gewissen Stellung des Mikroskops, wo die Vereinigungsstelle beider Streifenarten deutlich sichtbar wird, die tieferen Partien der Streifen nicht wahrgenommen werden und erst dann zum Vorschein kommen, wenn das Object dem Mikroskope etwas näher gerückt worden ist. Um sich von der Richtigkeit dieser Angabe zu überzeugen und um im Allgemeinen die Natur dieser Schüppchen zu untersuchen, wähle man nicht solche, wo die beiden Klassen von Streifen schwer zu erkennen sind und die man deshalb vorzugsweise als Probeobjecte benutzt, sondern solche, wo die Streifen die gehörige Dicke haben und die Interstitien gross sind. Ganz gut passen dazu die Schüppchen vom blauen Theile an den Oberflügeln von *Papilio Ulysses*. Die Dicke der Längsstreifen beträgt hier 1,2 Mmm, und sie haben den bedeutenden Abstand von 3,9 Mmm von einander; die Querstreifen aber haben 0,9 Mmm Dicke und 3,4 Mmm Abstand. Ein solches Schüppchen erscheint schon bei einer mässigen Vergrösserung ganz als ein Netzwerk von fast viereckigen Maschen, deren Reihen aber nicht überall einander genau entsprechen, sondern oftmals auch alterniren. Dies beweist zugleich, dass die Querstreifen nicht in einer besondern Schicht unter einer darüber befindlichen Längsstreifenschicht liegen, und dass der Grund, warum beiderlei Streifen nicht gleichzeitig mit gleicher Schärfe gesehen werden können, nur darin zu finden ist, dass, wie schon erwähnt, die Querstreifen abwärts gekrümmt sind.

An den genannten Schuppen nimmt man dann ferner wahr, dass bei jener Stellung des Mikroskops, wobei die oberen Ränder der Längsstreifen ganz scharf hervortreten, diese durch gerade parallele Linien begrenzt werden; nähert man aber das Mikroskop etwas mehr, so dass die Maschen anfangen sichtbar zu werden, dann bemerkt man, wie die durch sie geformten Winkel sich etwas abrunden, dergestalt, dass an der Vereinigung des Querstreifens mit dem Längsstreifen eine schwache Verdickung entsteht. Hieraus erklärt sich dann eine andere Erscheinung, die zu Täuschung Veranlassung gegeben hat. Von den Schüppchen von *Pieris brassicae*, die zu den schwierigeren Probeobjecten gehören, giebt Chevalier (*Die Mikroskope u. s. w. S.* 104) eine Beschreibung, der zu Folge keine Querstreifen daran sichtbar sind und die Längsstreifen aus Reihen von Kügelchen bestehen, die sich in kleinen Entfernungen von einander befinden; er bildet sie auch entsprechend dieser Beschreibung ab und bemerkt sogar, dass die körnige Bildung dieser Streifen der wahre Prüfstein für ein Mikroskop sei, da er sie blos durch seine besten Mikroskope als solche wahrnimmt. Nach Goring (*Microscopic Cabinet* p. 160) und nach Mohl (*Mikrographie. S.* 180) dagegen haben diese Schüppchen die nämlichen längs- und querlaufenden, durch parallele Linien begrenzten Streifchen, wie andere Schuppen, und Mohl spricht sich selbst dahin

aus, dass in Chevalier's Beschreibung ein schlechtes Zeugniss für seine Mikroskope niedergelegt ist. Das ist nun aber nicht der Fall; denn es hängt ganz von der Art und Weise der Beleuchtung ab, ob längslaufende und quere Streifen mit parallelen Grenzlinien sich zeigen, oder ob nur die ersteren erscheinen und dann aus Kügelchen zu bestehen scheinen. Mittelst eines vorzüglichen Mikroskops und bei 400- bis 500maliger Vergrösserung gewahrt man sie wirklich auf die letztere Weise bei centrischer Beleuchtung mit divergirenden Lichtstrahlen, die unter einem ziemlich spitzen Winkel auf das Object fallen. Werden dagegen zur Beleuchtung schief auffallende oder convergirende Strahlen benutzt, dann kommen beiderlei Arten von Streifen, durch parallele Linien begrenzt, zum Vorschein und die scheinbaren Kügelchen verschwinden. Die Erklärung fällt nach dem Frühern keineswegs schwer. Die Streifen auf den Schuppen von *Pieris brassicae*, namentlich die queren, gehören wirklich zu den schwer wahrnehmbaren Objecten und man sieht sie nur, wenn das Licht auf bestimmte Weise einfällt; fällt das Licht auf andere Weise ein, so sieht man nichts davon, abgerechnet die oben genannten etwas dickeren Stellen, wo die Längs und Querstreifen zusammenhängen. Diese dickeren Partien wirken dann wie Reihen kleiner Linsen und erscheinen, gleich als wären es Linsen, mit dunkeln Umrissen. In der Wirklichkeit sind sie nicht rund, sondern eckig; indessen bei solcher Kleinheit ist es nicht mehr möglich, die Form deutlich zu erkennen, und alle kleinen Körperchen erscheinen mehr oder weniger rundlich. Uebrigens erblickt man dergleichen Kügelchen auch an den Längsstreifen der meisten anderen Schmetterlingsschüppchen, wenn die Beleuchtungsart dabei günstig ist und der obere Rand dieser Streifen sich nicht gerade im Brennpunkte befindet. An den Schüppchen von *Lepisma saccharinum*, *Petrobius maritimus*, *Podura plumbea* u. s. w., wo keine Querstreifen zwischen den längslaufenden vorkommen, bemerkt man niemals eine solche Zusammensetzung aus Kügelchen.

Unter der bisher beschriebenen obern Schicht der Insectenschüppchen befindet sich noch eine zweite, die nur unter besondern Umständen sichtbar wird. Am besten gewahrt man diese an den Schüppchen von Insecten, die längere Zeit sehr trocken aufbewahrt wurden. Dadurch werden sie sehr brüchig und es trennen sich zugleich die beiden Schichten, so dass man bei der Untersuchung auf einzelne Schüppchen zu stossen pflegt, an denen ein grösserer oder kleinerer Theil der unteren Schicht blos liegt. Es unterscheidet sich diese Schicht durch grössere Durchsichtigkeit von der obern und oftmals ist sie augenscheinlich blos häutig und structurlos; nicht selten aber erblickt man darin auch deutliche parallele Streifen, die oftmals ebenso verlaufen, wie die viel deutlicheren längslaufenden Streifen der obern Schicht, in anderen Fällen aber auch mit diesen einen mehr oder weniger spitzen Winkel bilden.

Diese Zusammensetzung der Schüppchen aus zwei gestreiften Schichten erklärt wieder einige optische Erscheinungen, die an denselben vor-

kommen. Da die beiden Schichten sich nicht gleichzeitig in die erforderliche Entfernung vom Mikroskope bringen lassen, um mit Bestimmtheit gesehen zu werden, so schimmern die Streifchen der untern Schicht durch jene der obern hindurch, wenn das Mikroskop eine Stellung hat, wobei das Bild der oberen Streifen scharf und deutlich hervortritt. Das undeutliche Bild der untern Schicht wird also auf das deutliche Bild der obern projicirt und hierdurch entsteht eine eigenthümliche Verwirrung im Gesichtseindrucke. Das einfachste Beispiel der Art bilden die Schüppchen von *Lepisma saccharinum.* Die Streifen beider Schichten schneiden einander unter spitzem Winkel, und dies hat zur Folge, dass überall, wo sich unmittelbar unter einem dickeren Streifen der überliegenden Schicht ein dünnerer der unterliegenden befindet, schief stehende schattenartige Stellen an der erstern zum Vorschein kommen, wodurch der Streifen ein Aussehn bekommt, als wäre er strickartig gedreht.

Aus der Projection der Bilder beider Schichten auf einander erklärt es sich denn auch, weshalb die Streifen in manchen Fällen schattenartig wogend oder im Zickzack verlaufend sich darstellen, wobei sie dann niemals scharf begrenzt, aber in der Regel merklich breiter als die wahren Streifen erscheinen. Es sind ganz die nämlichen Streifen, wie man sie auch in Moiré oder in gewässerten Stoffen sieht, und denen auch ganz die nämliche Ursache zu Grunde liegt. Am deutlichsten sieht man sie, wenn zwei Drahtnetze übereinander gehalten werden; hier kann man wahrnehmen, dass Breite, Richtung und wogender Verlauf der Streifen sich nicht nur mit der Entfernung beider Netze von einander ändern, sondern auch mit der Richtung des Auges und mit dessen Entfernung von den Netzen. Liegen zwei oder mehr recht durchscheinende Schüppchen auf einander, dann kann man die nämliche Erscheinung wahrnehmen; aber auch an einzeln daliegenden Schüppchen kommt sie bisweilen vor und zwar am deutlichsten an jenen von *Podura plumbea.* An den kleinsten von diesen Schüppchen sieht man sogar nichts anders, als solche im Zickzack verlaufende Streifen; hier ist also die Wirkung noch sichtbar, obwohl man von deren Ursachen nichts mehr wahrnimmt. Untersucht man nämlich die grösseren Schuppen, so erkennt man auch hier zwei Schichten, und dass beide parallele und gerade verlaufende ungemein dünne Streifen mit sehr schmalen Interstitien besitzen; im Gegensatze zu dem aber, was man an den Schuppen der meisten anderen Insecten beobachtet, haben diese Streifen in beiden Schichten die nämliche Dicke und schneiden einander spitzwinkelig. Ob hier ebenfalls Querstreifchen vorkommen, habe ich nicht mit Bestimmtheit erkennen können.

Vielleicht sind die schiefen in der Diagonalrichtung verlaufenden feinen Streifen, die unter besonderen Umständen auf den Schüppchen einiger Lepidoptern, wie *Pieris brassicae*, *Tinea vestianella* u. s. w. erscheinen, auf eine ähnliche Weise zu erklären. Wenigstens hat dies für mich mehr Wahrscheinlichkeit, als die Meinung von Mohl (a. o. O. S. 188), der sie als das Resultat wellenförmiger

Falten betrachtet, welche die Längsstreifen an einzelnen Stellen in schiefer Projection sehen lassen. Verhielt sich die Sache also, dann müsste man sie durch alle wirklich guten Mikroskope wahrnehmen können, was doch nicht der Fall ist. Goring (*Micrographia*, p. 133) hat bereits angegeben, dass diese Art von Streifen durch ein aplanatisches dioptrisches Mikroskop nur sehr undeutlich wahrgenommen werden, während er dieselben mit einem katadioptrischen Instrumente immer ganz deutlich erkannte. Ein stärkeres optisches Vermögen des letzteren wird aber hierdurch nicht dargethan, wie daraus zu entnehmen ist, dass ich diese schiefen Streifchen am besten durch stark vergrössernde Glaskügelchen sehe und viel weniger deutlich durch ein aplanatisches Mikroskop, mittelst dessen die wirklich vorhandenen Längs- und Querstreifen entschieden schärfer hervortreten. Dadurch wird die Vermuthung gerechtfertigt, dass die Art des Instrumentes hierbei einen ähnlichen Einfluss ausübt, als die Richtung und der Abstand des beobachtenden Auges beim Betrachten von Zickzacklinien, die durch zwei über oder vor einander gehaltene Drahtnetze entstehen, und dass also diese Streifen dadurch zu Stande kommen, dass die Bilder der unteren und oberen Schicht auf einander projicirt werden.

Möglicher Weise könnten aber auch diese Streifchen wirklich existiren und der tieferen Schicht der Schüppchen angehören. An den eigenthümlich geformten, oben gespaltenen Schuppen, die an der Oberfläche der Flügel von *Papilio polycaon* vorkommen, sind die Längsstreifen der oberen Schicht sehr deutlich; durch dieselben schimmern, ähnlich wie bei *Lepisma*, die stärkeren divergirend verlaufenden Längsstreifen der tieferen Schicht, und bei einer passenden Stellung des Mikroskops und einer scharfen 400maligen Vergrösserung sieht man zwischen den Längsstreifen querlaufende Streifchen, die einander unter spitzem Winkel schneiden oder kreuzen. Folglich ist es nicht unwahrscheinlich, dass hier zweierlei Arten von Querstreifchen vorhanden sind, deren eine der oberen, die andere der unteren Schicht angehört, und dass also auch in anderen Fällen, wo solche schiefverlaufende Streifchen wahrgenommen werden, diese wirklich der unteren Schicht angehören und deren Querstreifen darstellen.

Aus dem bisher Gesagten ergiebt sich, dass man bei Benutzung dieser Schuppen zu Probeobjecten stets vor einigen optischen Erscheinungen auf der Hut sein muss, die sonst leicht zu einem Irrthume Veranlassung geben. Worauf es hierbei eigentlich ankommt, das ist die Unterscheidung der längslaufenden und querlaufenden Streifen; denn weder die im Zickzack, noch die in der Diagonalrichtung verlaufenden Streifen kommen hier in Betracht, insofern die ersteren positiv einer optischen Täuschung zugeschrieben werden müssen, über die Beschaffenheit der letzteren aber noch nichts mit Sicherheit bekannt ist. An jedem Schüppchen hat man demnach eine feine, mikrometrische Theilung, deren Unterscheidbarkeit natürlich um so schwerer fällt, je zarter die Streifen

und je kleiner die Interstitien sind. Da ferner, wenn beide Streifenarten da sind, die queren gewöhnlich schwieriger sich erkennen lassen als die längslaufenden, so hat man an Einem solchen Schüppchen eigentlich zwei verschiedene Probeobjecte: die Längsstreifen kann man für die schwächeren, die Querstreifen für die stärkeren Vergrösserungen benutzen. Auch wird man in der Regel finden, dass die Querstreifen am breiteren Theile der Schüppchen deutlicher gesehen werden als am schmäleren nahe der Basis.

In der folgenden kleinen Tabelle sind Dicke und Abstände der Streifen in der Mitte einiger dieser Probeobjecte verzeichnet. Allerdings stehen die Schüppchen nicht immer einander an Grösse so gleich, dass diese Zahlen für alle von dem nämlichen Thiere kommenden Schüppchen gelten könnten; da aber (wenn nicht das Gegentheil angegeben ist) immer Schüppchen von mittlerer Grösse zur Messung gewählt wurden, so hat man an den Zahlen dieser Tabelle doch einen Maassstab, der bei der Unterscheidung der Streifen zu Grunde gelegt werden kann. Die Maasseinheit, auf welche die Zahlen hinweisen, ist das Mikromillimeter.

	Längsstreifen.			Querstreifen.		
	Dicke in Mmm.	Entfernung in Mmm.	Es kommen auf 10 Mmm.	Dicke in Mmm.	Entfernung in Mmm.	Es kommen auf 10 Mmm.
Nr. 1. *Lepisma saccharinum.* a. Grössere .	1,4	1,6	3,3			
„ „ b. Kleinere .	0,5	0,7	8,3			
„ 2. *Sphinx Elpenor*	1,3	1,4	3,7	0,5	0,7	8,3
„ 3. *Colias rhamni*	1,5	1,5	3,3	0,4	0,5	10,1
„ 4. *Morpho Menelaus*	0,8	1,3	4,8	0,4	0,7	9,0
„ 5. *Bombyx dispar*	0,8	1,7	4,0	0,4	0,6	10,0
„ 6. *Argynnis cynxia*	0,7	0,9	6,2	0,6	0,7	7,7
„ 7. *Lycaena Argus.* a. Gelbe	0,6	0,9	7,0	0,5	1,0	6,6
„ „ „ b. Braune	0,7	1,1	5,5	0,5	0,5	10,0
„ 8. *Tinea vestianella*	0,6	0,6	8,4	0,4	0,6	10,0
„ 9. *Pieris brassicae*	0,5	1,1	6,2	0,3	0,6	10,1
„ 10. *Podura plumbea*	0,3	0,5	12,3			

Nr. 1. Die Schüppchen, welche den ganzen Körper von *Lepisma saccharinum* bedecken und den perlmutterartigen Glanz bewirken, sind in Grösse und Form von einander verschieden und passen deshalb nicht gut zu einem comparativen Probeobjecte, wozu sie sich sonst wegen ihrer

Durchsichtigkeit und vollkommenen Farblosigkeit sehr gut eignen. Man kann aber zwei Hauptformen derselben unterscheiden: die eine (a) giebt sich durch eine keilförmige Gestalt und sehr deutliche Längsstreifen zu erkennen, die andere (b) besitzt mehr eine rundliche Form, mit blasseren und dichter bei einander stehenden Streifen. Die Streifen der ersteren erkennt man schon bei den geringsten Vergrösserungen (30 bis 40 Male) eines guten Mikroskops, jene der zweiten Form sind erst bei einer 100- bis 150fachen Vergrösserung recht gut sichtbar *).

Nr. 2. Die Schüppchen von *Sphinx Elpenor*, vom röthlich gefärbten Theile der Unterfläche der Vorderflügel stammend, lassen die Längs- und Querstreifen schon bei mässiger Vergrösserung deutlich erkennen.

Nr. 3 kommt von der Unterfläche der Vorderflügel. Die Schüppchen Nr. 4 von der oberen Fläche der Flügel sind bei durchfallendem Lichte gelblich, bei auffallendem Lichte blau gefärbt. Die Schüppchen von Nr. 5 stammen von der oberen Fläche der Vorderflügel. Die unter diesen drei Nummern verzeichneten Probeobjecte sind schwerer zu erkennen, als die Objecte Nr. 1 a und Nr. 2. Um die Querstreifen in der ganzen Länge der Schüppchen zu sehen, sind schon 200- bis 250malige Vergrösserungen erforderlich; die Längsstreifen aber erkennt man schon bei schwächeren Vergrösserungen.

Nr. 6. Die Schüppchen von den perlmutterfarbigen Theilen der Vorderflügel von *Argynnis Cynxia* gehören zu den besten comparativen Probeobjecten, weil sie in Grösse und Form untereinander übereinstimmen. Die Längsstreifen lassen sich schon bei einer mässigen Vergrösserung deutlich erkennen; zur Wahrnehmung der Querstreifen ist wegen der grossen Durchsichtigkeit der Schüppchen eine 300malige Vergrösserung bei guter Beleuchtung erforderlich.

Nr. 7. Auf der Oberfläche der Vorderflügel von *Lycaena Argus* kommen drei Arten von Schüppchen vor: a) Solche, die bei auffallendem Lichte blau, bei durchfallendem hellgelb erscheinen. Diese sind untereinander gleich an Grösse und an Gestalt. Die Längsstreifen eignen sich besonders zur Prüfung mässiger Vergrösserungen; die Querstreifen dagegen sind sehr schwer sichtbar, weil die Schüppchen sehr durchsichtig und die Streifen sehr schwach sind. Bei einer zweckmässig eingerichteten Beleuchtung von 300 bis 350 Mal sind sie jedoch zu erkennen, nur gehört noch ein hoher Grad von durchdringendem Vermögen dazu, wenn sie in der ganzen Länge des Schüppchens genau wahrgenommen werden sollen. b) Solche, die bei auffallendem Lichte hellbraun, bei durchfallendem graubraun erscheinen. Sie sind weniger durchsichtig als die vorigen, und haben auch nicht in gleichem Maasse gleiche Grösse

*) Die Vergrösserungsziffern, welche bei diesen Probeobjecten angeführt werden, beziehen sich auf ein aplanatisches zusammengesetztes Mikroskop mit dem schwächsten gewöhnlich benutzten Oculare, welches, bei etwa 20 Centimeter Länge des Rohrs, die Bilder 5 bis 6 Mal vergrössert.

unter einander. Die Längsstreifen sind ziemlich eben so deutlich wie bei den vorigen; die Querstreifen stehen weit dichter bei einander, werden aber, weil sie dunkeler sind, etwas leichter wahrgenommen, jedoch nicht unter einer 300maligen Vergrösserung. c) Eigenthümlich geformte kleine eirunde Schüppchen von gelblicher Farbe bei auf- und durchfallendem Lichte. Sie unterscheiden sich von den vorigen und von denen der meisten übrigen Schmetterlinge dadurch, dass ihnen eigentliche Längs- und Querstreifen fehlen. An deren Statt nimmt man Reihen dunkeler scharf begrenzter runder Punkte wahr, deren jeder ein helles Pünktchen in der Mitte hat. Jeder solche Punkt ist die Basis eines sehr kurzen kegelförmigen spitz zulaufenden Härchens, welches sichtbar wird, wenn man die Schüppchen mit einem Glas oder Glimmerblättchen bedeckt, durch dessen Gewicht die Spitzen einiger Härchen seitwärts gebogen werden. Diese dunkelen Punkte sind 1 bis 1,6 Mmm gross, und stehen 2,5 bis 3,1 Mmm von einander entfernt. Sie eignen sich zur Prüfung des begrenzenden Vermögens bei mässigen Vergrösserungen. Jeder Punkt muss sich dann scharf begrenzt darstellen und bestimmt abgeschieden von den benachbarten.

Nr. 8. Auf den Schüppchen von der Oberfläche der Vorderflügel der *Tinea vestianella* sind die Längsstreifen schwerer zu erkennen, als bei den vorhergehenden Probeobjecten; dagegen sind die Querstreifen wegen geringerer Durchsichtigkeit leichter zu erkennen, als bei Nr. 6 und bei Nr. 7 a, trotzdem dass sie näher bei einander stehen. Es kommen übrigens bei diesen Schüppchen zu grosse Verschiedenheiten vor, als dass man sie bei der Vergleichung verschiedener Mikroskope als Maassstab benutzen könnte.

Nr. 9. Die Schüppchen von *Pieris brassicae* sind zu diesem Zwecke tauglicher. Beim Männchen dieses Schmetterlings kommen zwei oder drei Arten von Schüppchen vor; als Probeobject müssen blos solche genommen werden, deren Gestalt von jener der meisten anderen Insecten ganz abweichend ist. Sie sind nämlich an der Basis breiter als am entgegengesetzten Ende und herzförmig ausgeschnitten; zwischen den beiden Lappen der Basis befindet sich das rundliche Stielchen, mittelst dessen jedes Schüppchen in seiner bestimmten Epidermishöhle auf den Flügeln eingepflanzt ist. Ausserdem unterscheiden sich diese Schüppchen von den übrigen des nämlichen Schmetterlings durch ihre grosse Durchsichtigkeit. Sie gehören zu den schwierigeren Probeobjecten. Die Längsstreifen lassen sich allerdings ohne grosse Mühe erkennen; damit aber diese sowohl als die Querstreifen scharf begrenzt und in der ganzen Länge des Schüppchens wahrgenommen werden, ist ein Mikroskop erforderlich, welches eben sowohl ein grosses durchdringendes, als ein gutes begrenzendes Vermögen besitzt.

Nr. 10. Die Schüppchen von *Podura plumbea* sind ein noch schwierigeres Probeobject. Die breiteren zickzackförmigen schattenartigen Streifen auf denselben sind allerdings ohne grosse Mühe wahrnehmbar,

wenigstens auf den grösseren Schuppen; die Streifen dagegen, welche in beiden einander deckenden Schichten vorkommen und wodurch die Zickzacklinien entstehen, sind wegen der grossen Durchsichtigkeit dieser Schüppchen nur durch ein sehr gutes Mikroskop deutlich zu erkennen. Zum vergleichbaren Maassstabe eignen sie sich aber weniger als die Schüppchen von *Pieris brassicae*, weil sie in Grösse zu sehr unter einander differiren und weil die Streifen der grösseren Schüppchen weit leichter zu erkennen sind als an den kleineren.

Die beiden letztgenannten Probeobjecte können zur Prüfung stärkerer Vergrösserungen von 300 bis 400 Mal und darüber benutzt werden.

Diese Liste von Insectenschüppchen liesse sich noch durch viele andere vermehren, die auch als Probeobjecte benutzt werden könnten. Man wird aber mit den obengenannten und selbst mit einer geringeren Anzahl, z. B. Nr. 1, 6, 8 und 9 vollkommen ausreichen, um das optische Vermögen eines Mikroskops zu untersuchen. Der Vollständigkeit halber lasse ich jedoch noch einige folgen, die man anempfohlen hat.

Goring führt noch die Schüppchen von *Petrobius maritimus* an, die mit jenen von *Lepisma saccharinum* ziemlich übereinstimmen, desgleichen die Schüppchen am Körper von *Alucita pentadactyla* und *hexadactyla*. Bei den beiden letzteren sind die Längsstreifen nach Mohl nicht in der ganzen Länge des Schüppchens sichtbar und sie erfordern schon eine mässig starke Vergrösserung (100 bis 160 Mal), um sichtbar zu werden. Mohl empfiehlt besonders als Probeobject die Flügelschüppchen vom Weibchen der *Hipparchia Janira*, die er durch Amici kennen lernte. Bei einer geringen Vergrösserung sind die Längsstreifen schon sichtbar; um aber die Querstreifen gut und bestimmt zu sehen, ist nach Mohl ein vorzügliches Mikroskop mit 300maliger Vergrösserung nöthig. Noch weit schwieriger sind aber die Schüppchen von der Oberfläche der Flügel des Männchens der *Hipparchia Janira* zu untersuchen: die Längsstreifen sind hier nur bei einer sehr starken und scharfen Vergrösserung und bei schief einfallendem Lichte sichtbar, und von den Querstreifen, die ohne Zweifel auch vorhanden sind, vermochte er gar nichts wahrzunehmen.

Neuerer Zeit hat man, zumal in England, die Kieselpanzer verschiedener Diatomeen als Probeobjecte benutzt, namentlich von verschiedenen Arten *Navicula* Ehrenb., wozu auch die Unterarten *Pinnularia* und *Pleurosigma* Smith gehören. Namentlich zählen verschiedene Arten *Pleurosigma* mit den Sförmig gekrümmten Kieselpanzern zu den besten Probeobjecten. Bei hinreichender Vergrösserung und gehöriger Beleuchtung, am besten durch schief einfallendes Licht, sieht man zarte Streifen auf diesen Kieselschalen, die meistens in einer mehr oder weniger schiefen Richtung verlaufen. Gewöhnlich, wenn nicht immer, sind es zweierlei Streifchen, die sich unter einem fast rechten Winkel kreuzen. Bei noch stärkerer Vergrösserung überzeugt man sich, dass diese Streifen eigentlich durch Reihen sechseckiger kleiner Felder oder Punkte hervorgebracht werden. Je nach der Einstellung des Mikroskops erscheinen diese in

der Mitte hell und die Interstitien sind dann dunkel; oder bei dunkeler Mitte sind die Interstitien hell. Diese Interstitien sind es eigentlich, die, weil sie ein zusammenhängendes Ganzes bilden, in der Gestalt von Streifen sich darstellen. Bei den am schwersten löslichen Arten gelingt es auch mit den besten Mikroskopen nicht, etwas anderes zu sehen, als diese Streifen, wodurch die Reihen sechseckiger Punkte angedeutet werden; letztere kommen dagegen bei den leichter löslichen mittelst starker und scharfer Vergrösserung unter günstigem Lichteinfalle zum Vorschein.

Die Frage, ob diese sechseckigen Pünktchen als erhabene oder vertiefte Stellen der Schaale anzusehen sind, ist bei so ungemein zarten Objecten sehr schwer zu beantworten, da der Unterschied in der Dicke dieser Stellen und der Interstitien so ganz gering ist, dass bei der Einstellung des Mikroskops unmöglich mit Sicherheit bestimmt werden kann, ob einer der beiden Theile sich gerade im Focus befindet. Wahrscheinlich ist es indessen, dass die Pünktchen kleine Höhlungen sind, die Interstitien aber etwas erhabene Ränder um dieselben. Bei manchen von den grösseren Coscinodiscusarten, bei *C. radiatus* Ehrenb. und besonders deutlich bei den im holländischen Alluvialboden so häufig vorkommenden *C. cellulosus* Harting ist dies bestimmt der Fall, wie man an abgebrochenen Stückchen der Schaalen mit Sicherheit erkennen kann. Auf eigenthümliche Weise hat es dann auch Wenham (*Quart. Journ.* 1855. XI. p. 244) bewiesen. Er machte nämlich durch Galvanotypie Abdrücke von Diatomeen, unter anderen auch von den schwer löslichen *Navicula balticum*, *Pleurosigma Hippocampus* u. s. w. Durch Kochen mit starker Kalilauge entfernte er hierauf die anhängenden Kieselschaalen. Betrachtete er alsdann die Abdrücke in Kupfer als undurchsichtige Objecte, so erkannte er, dass die Streifchen im Kupfer sich abgedruckt hatten, sich also an der Oberfläche der Schaalen befinden müssen.

In der folgenden kleinen Tabelle sind einige Messungen von Sollitt und Harrison (*Quart. Journ.* 1853. V. p. 62), sowie von Dr. Hall (*Quart. Journ.* 1856. XV. Beschreibung der 13. Tafel) zusammengestellt. Auf je 10 Mmm. kommen nämlich:

	Streifen
Navicula strigilis (S. u. H.)	13,0
Pleurosigma formosum (Hall)	14,2
„ *Hippocampus* (S. u. H.)	16,5
„ „ (Hall) Längsstreifen	12,2
„ „ (Hall) Querstreifen	15,8
Navicula Spenceri (S. u. H.)	19,7
„ *lineata* (S. u. H.) } *Pleurosigma angulatum* (S. u. H.), gross }	23,6
„ „ (S. u. H.), klein	27,6
„ „ (Hall)	20,4
Navicula strigosa (S. u. H.), gross	27,6
Navicula strigosa (S. u. H.), klein	31,5

	Streifen
Ceratoneis fasciola (S. u. H.)	35,4
Navicula sigmoidea (S. u. H.)	41,3
Navicula arcus (S. u. H.)	51,2

Vergleicht man mit dieser Tabelle jene über die Insectenschüppchen (S. 285), so findet man die zuletzt genannten Objecte der Insectentabelle etwa gleich mit den obenanstehenden der Naviculatabelle; bei den letzten Nummern der Naviculatabelle dagegen finden sich etwa viermal soviele Streifen als bei *Podura plumbea.* Die Panzer der Naviculaarten empfehlen sich aber nicht blos durch die grössere Feinheit der darauf sichtbaren Streifchen, auch die grössere Gleichmässigkeit haben sie vor den Insectenschüppchen voraus. Eine vollkommene Gleichmässigkeit indessen findet sich auch hier nicht und ist bei organischen Körpern niemals zu erwarten. In der vorstehenden Tabelle finden sich dafür überzeugende Beweise: bei einer und derselben Art, z. B. bei *Pleurosigma angulatum*, kann die Anzahl der auf 100 Mmm. kommenden Streifen zwischen 20,4 und 27,6 variiren.

Auch scheint es nicht ganz überflüssig hier noch anzumerken, dass alle diese Probeobjecte weit schwerer sich erkennen lassen, wenn sie nicht trocken, sondern in Canadabalsam aufbewahrt sind.

Als Probeobjecte können ferner noch die Amylumkörner von *Solanum tuberosum* und von einigen anderen Pflanzen in Betracht kommen wegen der Begrenzungslinien der den Kern concentrisch umgebenden Schichten; die Tracheen der Insecten mit ihrem Spiralfaden, der immer feiner wird, jemehr sich das Gefäss verjüngt; die zarten Cilien der sich bewegenden Algensporidien; das spiralig gewundene dünne Ende der Spermatozoen der verschiedenen Tritonarten u. s. w.

Die gestreiften Insectenschüppchen und die Kieselpanzer der Diatomeen hat man vorzüglich empfohlen, um das durchdringende Vermögen eines Mikroskops zu prüfen, und dazu sind sie auch in sofern als besonders geeignet anzusehen, weil bei ihnen, gleichwie auch bei den anderen genannten Körpern, es vorzüglich auf das Erkennen sehr geringer Abweichungen der Lichtstrahlen ankommt, wozu ein grosser Oeffnungswinkel erforderlich ist. Wirklich verschwinden viele von den schwer wahrnehmbaren Einzelnheiten dieser Probeobjecte, wenn man den Oeffnungswinkel kleiner macht, obwohl das begrenzende Vermögen dabei keine Veränderung erleidet.

Indessen wird ein etwas geübter Beobachter mit ihrer Hülfe auch sehr gut den Grad des letztgenannten Vermögens bestimmen können. Je mehr dieses entwickelt ist, desto schärfer, bestimmter und dunkeler zeigen sich alle Umrisse, nicht blos der ganzen Objecte, sondern auch der darauf vorkommenden Streifen.

Mehr ausschliesslich zur Prüfung des begrenzenden Vermögens hat Goring folgende Probeobjecte empfohlen: a) Die Haare der gewöhnlichen Maus; hier müssen die dunkelen Stellen (theilweise mit Luft er-

füllte Zellen), die mit durchsichtigen Partien abwechseln, genau unterschieden werden können. b) Die Haare auf den Flügeln der Fledermaus; hier kommt es besonders darauf an, dass man die Bildung der Epithelialschicht deutlich erkennt, deren platte, schuppenförmige Zellen in einer spiralig gedrehten Linie nach aussen vorspringen. c) Die weiter oben beschriebenen gefleckten Schüppchen von *Lycaena Argus*.

Am besten prüft man aber diese Seite des optischen Vermögens mit jenen Mitteln, die weiter oben als die geeigneten bezeichnet wurden, um den Grad der Verbesserung beider Aberrationen zu untersuchen. Bei schwächeren Vergrösserungen können daher kleine weisse Körperchen, wie Amylumkörner, die Pollenkörner vieler Pflanzen u. s. w., die man auf schwarzem Grunde bei auffallendem Lichte betrachtet, als geeignete Probeobjecte angesehen werden. Sie müssen sich in scharfer und bestimmter Zeichnung, ohne eine Spur von Lichtnebel, darstellen. Will man starke Vergrösserungen prüfen, dann empfehlen sich die kleinen Oeffnungen in den nicht verholzten Zellwänden, welche man dadurch wahrnehmbar macht, dass man den Durchschnitt einer pflanzlichen Substanz von Jodtinctur durchziehen lässt, und dann nach Verdunstung des Alkohols mit Schwefelsäure befeuchtet, die mit $^1/_3$ ihres Gewichts Wasser verdünnt ist. Auf den hierdurch dunkel violett gefärbten Zellwänden müssen diese Oeffnungen da, wo das Spiegellicht gerade durch sie treten kann, mit scharfen Rändern sich darstellen, und wo mehrere dicht bei einander liegen, da müssen sie deutlich gesehen werden. Besonders eignen sich dazu solche Gewebe, z. B. die Wände von den Parenchymzellen der Kartoffel, wo die Oeffnungen hier und da zu kleinen Gruppen vereinigt sind, die sich bei schwachen Vergrösserungen oder auch bei stärkeren, falls das begrenzende Vermögen unvollkommen ist, als eine einzige grössere Oeffnung darstellen, während dann durch ein gut begrenzendes Mikroskop bei genugsamer Vergrösserung (400 bis 500 Male) statt des Einen Loches 5 bis 15 äusserst kleine Oeffnungen von $^1/_{3000}$ bis $^1/_{2000}$ ^{mm} Durchmesser mit sehr schmalen Interstitien zum Vorschein kommen.

Eine Unbequemlichkeit, die sich mit dem Gebrauche aller organi- 238
schen Probeobjecte verknüpft, besteht darin, dass die Resultate, zu denen ein Beobachter mittelst seines Mikroskops gekommen ist, sich niemals vollkommen mit denen eines anderen vergleichen lassen, weil die gleichnamigen Objecte selbst unter einander zu sehr in Grösse und Deutlichkeit verschieden sind. Es giebt allerdings wohl einige, die in dieser Beziehung vor den übrigen den Vorzug verdienen; allein es bleibt doch wünschenswerth, einen zuverlässigeren Maassstab zu besitzen, der das optische Vermögen eines Mikroskops auf eine Weise erkennen lässt, die überall und stets Geltung hat. Besser genügt nun diesem Zwecke eine mikrometrische Theilung auf Glas. Nobert (Poggend. Annal. 1846. Nr. 2. S. 175) hat den glücklichen Gedanken gehabt, ausdrücklich hierzu bestimmte Glasplatten zu verfertigen mit einer Anzahl (10 bis 20) Liniengruppen, so dass diese Linien in der ersten Gruppe am weitesten, in der

letzten Gruppe am wenigsten von einander entfernt sind. Man kann so die verschiedenen Gruppen nach einander in die Mitte des Feldes bringen und erforschen, welche Gruppe durch das gebrauchte Mikroskop noch in die einzelnen Linien zerlegt wird. Im dritten Buche werde ich ausführlicher von diesen merkwürdigen Probeplättchen handeln, und es wird sich zeigen, dass es der Kunst gelungen ist, in der Feinheit der Theilung die Natur noch zu übertreffen. Nur über den Gebrauch dieser Plättchen sollen hier einige Bemerkungen beigefügt werden.

Zuvörderst hüte man sich, eine Streifung in einer Gruppe für wirkliche Trennung in die sie zusammensetzenden Linien zu halten. Das kann nämlich leicht geschehen, weil diese Linien, ungeachtet aller Sorgfalt, womit sie gezogen werden, doch nicht an allen Punkten vollkommen gleiche Dicke haben, vielmehr durch ungleichen Druck des Diamanten hier und da etwas gröbere Streifen entstehen, die den Ungeübten täuschen können. Sodann sorge man dafür, dass die am schwersten zu trennende Gruppe gerade in der Mitte des Gesichtsfeldes liegt. Das gilt zwar für alle Probeobjecte überhaupt; es wird aber diese Vorsicht hier leichter verabsäumt, weil man eine Anzahl Gruppen auf Einmal übersieht. Drittens muss dann bei Anwendung schief einfallenden Lichtes darauf gesehen werden, dass die Linien auf der Richtung, in welcher die Strahlen durch den Spiegel reflectirt werden, senkrecht stehen.

Prüft man verschiedene Mikroskope mittelst des nämlichen Probeplättchens, so wird man über deren trennbares Vermögen zu vergleichbaren Resultaten kommen; weniger ist das aber der Fall, wenn man verschiedene Probeplättchen benutzt. Die früheren Nobert'schen Gläser stimmen nicht ganz mit seinen späteren überein in Betreff nämlich der Entfernung der Linien in den gleichnamigen Gruppen, und ausserdem kommen auch nicht selten Unterschiede vor in der Sichtbarkeit der Linien gleicher Gruppen auf verschiedenen Gläsern. Das ist auch nicht zu verwundern, da die geringste Abweichung im Druck des Diamanten oder in der Härte des Glases auf die Dicke der gezogenen Linien von Einfluss sein muss. Dazu kommt dann noch, dass die Sichtbarkeit der Linien auf solchen Gläsern, die einige Jahre alt sind, allmälig abnimmt; so finde ich es wenigstens bei den meinigen. Bei den früheren von Nobert gelieferten Gläschen, die unbedeckt waren, lässt es sich aus dem Abreiben behufs der Reinigung von Staubtheilchen erklären, wobei, ungeachtet aller angewandten Vorsicht, immer etwas von den äusserst feinen Rändern der Rinnen weggenommen werden muss. Später hat dann Nobert seine Gläschen mit einem Deckplättchen versehen, das an den Rändern mit Canadabalsam aufgeklebt ist; aber durch Verdunstung des darin enthaltenen Terpentinöls scheinen sich die Rinnen mehr oder weniger gefüllt zu haben, so dass sie an Sichtbarkeit verloren. Rathsam ist es daher, zum Aufkleben des Deckplättchens keine flüchtige Substanz zu benutzen, sondern Siegellack oder sonst eine in der Wärme flüssige Masse.

Bevor ich diesen Gegenstand verlasse, muss ich noch auf einige Punkte aufmerksam machen, die beim Urtheile über ein Mikroskop nach den durch die Untersuchung gewonnenen Ergebnissen, mögen nun die erwähnten Probeobjecte oder mögen mikroskopische Theilungen benutzt worden sein, Beachtung verdienen. 239

1. Wir haben früher (§. 161) gesehen, dass es auf die Schärfe des Bildes einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss übt, ob die Objecte mit einem Glasplättchen bedeckt werden oder nicht. Man muss deshalb Deckplättchen von verschiedener Dicke benutzen, um die Grösse dieses Einflusses kennen zu lernen. Deshalb ist es auch nicht gut, wenn man die Probeobjecte unter Glasplättchen aufbewahrt; Glimmerblättchen eignen sich dazu besser, die so dünn gemacht werden können, dass die dadurch hervorgebrachte Störung im Gange der Lichtstrahlen als nicht vorhanden erachtet werden kann.

2. Welchen Einfluss der Grad der Beleuchtung, sowie die Richtung der Lichtstrahlen auf die Sichtbarkeit der Objecte üben, darf bei dieser Untersuchung ganz besonders nicht aus dem Auge verloren werden. Man kann als Regel aufstellen, dass die Beleuchtung des Gesichtsfeldes um so schwächer ausfallen muss, je durchsichtiger die Probeobjecte sind. Die meisten Probeobjecte, namentlich die gestreiften, stellen sich bei schief einfallendem Lichte am besten dar. Ueber andere Vorkehrungen, die im Allgemeinen bei mühsamen Beobachtungen zu treffen sind, damit die Beleuchtung dem Sichtbarwerden möglichst günstig eingerichtet werde, verweise ich auf das betreffende Kapitel (§. 200 u. flg.).

3. Das Probeobject muss immer in die Mitte des Gesichtsfeldes kommen, weil das Bild dort am schärfsten sich ausprägt.

4. Vergleicht man zwei oder mehr Mikroskope, so ist jenes im Allgemeinen das beste, wodurch man bei schwächerer Vergrösserung ein gewisses Probeobject gleich gut sieht, wie bei stärkerer Vergrösserung durch ein anderes. Man vergesse aber nicht, dass jedes zusammengesetzte Mikroskop aus einer Anzahl von Objectiv- und Ocularsystemen besteht, deren jedes eigentlich ein selbstständiges Instrument darstellt, es also sehr wohl geschehen kann, dass einzelne Combinationen des einen Mikroskops denen von etwa gleicher Stärke im andern nachstehen, während dagegen bei andern einander entsprechenden Combinationen das Umgekehrte stattfinden kann. Wo es demnach auf eine gründliche Beurtheilung ankommt, darf man sich nicht damit begnügen, blos ein paar Verbindungen von Objectiven und Ocularen mit einander zu vergleichen, vielmehr müssen sie insgemein einer Prüfung unterliegen. Auch muss dabei im Auge behalten werden, wenn bei aplanatischen Mikroskopen die Combinationen mit einander vergleichbar sein sollen, dass nicht die ziemlich gleichen Vergrösserungsziffern derselben ausreichend sind, sondern dabei auch noch darauf zu achten ist, dass die benutzten Objective und Oculare möglichst gleiche Brennweiten haben; davon hängt nämlich der Antheil ab, den jedes für sich an der Gesammtvergrösserung hat, und es

ist die Schärfe des Bildes in der Regel um so grösser, je mehr der Antheil des Objectivs jenen des Oculars übertrifft. Es genügt also nicht, wenn man eine 300malige Vergrösserung eines Mikroskops mit einer 300maligen Vergrösserung eines andern vergleicht, die Factoren dieser Vergrösserungsziffer (§. 148) müssen auch ungefähr die nämliche Grösse haben.

240 Ich theile hier noch eine Methode mit, die zwar etwas weitläufig ist, mir aber die beste zu sein scheint, um das optische Vermögen eines Mikroskops zu prüfen, weil sie mit grosser Genauigkeit und Sicherheit die äussersten Grenzen der Sichtbarkeit und Unterscheidbarkeit der Objecte durch ein Mikroskop zu bestimmen erlaubt, so dass es möglich wird, den Grad des optischen Vermögens unter den verschiedensten Umständen in Zahlen auszudrücken.

Es besteht diese Methode einfach darin, dass man nicht die kleinen Objecte selbst, sondern deren dioptrische Bilder durch das Mikroskop betrachtet. Diese Bilder lassen sich nach Willkür verkleinern, indem man das Object, dessen Bild sich formt, ferner rückt, und man hat es somit in seiner Gewalt, die äusserste Grenze zu bestimmen, bei welcher das Bild eben noch wahrnehmbar ist.

Zur Erzeugung der Bilder könnte man achromatische Linsensysteme benutzen. Aber selbst bei solchen mit der kürzesten Brennweite müssten, wenn die Bilder klein genug werden sollten, die Objecte entweder sehr weit entfernt werden, was mit manchen Unannehmlichkeiten verknüpft und nur bei horizontaler Stellung des Mikroskops ausführbar wäre, oder die Objecte selbst müssten ungemein klein sein, und dabei müsste wieder die genaue Bestimmung ihres Durchmessers leiden, woraus doch weiterhin der des noch eben sichtbaren Bildes berechnet werden muss.

Besser eignen sich dazu kleine Luftblasen in einer Flüssigkeit. Am liebsten nehme ich eine wässerige Solution von arabischem Gummi, worin immer eine Menge solcher Luftblasen enthalten sind, die von der Luft zwischen den Theilchen des Pulvers kommen. Es ist gut, wenn man Wasser nimmt, das entweder eine geraume Zeit an der Luft gestanden hatte oder damit stark geschüttelt worden ist; gebraucht man nämlich Wasser, das nicht mit Luft gesättigt war, so werden die Luftblasen in der Auflösung allmälig kleiner, die Bilder selbst nehmen an Grösse ab, und dies giebt Veranlassung zu Fehlern in den Resultaten der folgenden Messungen.

Auf ein reines Glasplättchen bringt man nun ein Tröpfchen der Auflösung und deckt ein Glimmerblättchen darauf, nachdem man ein kreisförmig ausgeschnittenes Stückchen Papier dazwischen gelegt hat, um zu verhindern, dass die Luftblasen plattgedrückt werden. Dieses Gläschen bringt man dann auf dem Objecttische unters Mikroskop und sucht eine Luftkugel von passender Grösse zum Bilde aus. Sie erzeugen aber nicht alle ein gleich nettes und scharfes Bild, woran besonders der Umstand

schuld ist, dass manche von den Luftbläschen an das Deckplättchen stossen und dadurch ihre sphärische Form verlieren. Auch können sich unter oder über der Luftblase kleine Molekeln in der Flüssigkeit befinden, oder selbst im Inneren der Luftblase, und dies hat die nämliche Folge, als die unvollkommene Politur bei einer Glaslinse, das Bild bekommt nämlich etwas Nebelartiges. Man wird indessen immer ohne Mühe ein paar ausfindig machen, wodurch Bilder von grosser Schärfe und Bestimmtheit entstehen *), was man vorher dadurch erproben kann, dass zwischen den Spiegel und den Objecttisch ein Stück Papier oder etwas dergleichen gehalten wird. Das Bildchen befindet sich immer etwas unter der Luftblase und diese muss daher etwas näher ans Mikroskop gebracht werden, als es nöthig wäre, um ihre Ränder mit Schärfe zu sehen.

Das Object, dessen Bild zur Untersuchung dienen soll, muss auf einen Apparat kommen, der gestattet, dass dasselbe in dem Raume zwischen Spiegel und Objecttisch auf- und abbewegt wird. Das ist bei manchen Mikroskopen schwer auszuführen, entweder weil dieser Raum zu klein ist, oder wegen der trommelartigen Gestalt des Fusses, wodurch dieser Raum ganz verdeckt wird. Sind solche Mikroskope statt eines Spiegels mit einem reflectirenden Prisma versehen, dann kann das Object an die ausserhalb des Mikroskops befindliche Seite kommen. Am meisten eignen sich aber zur Ausführung dieser Methode solche Mikroskope, deren Beleuchtungsapparat aus einem Spiegel und einer Sammellinse besteht, die sich höher und niedriger stellen lässt. Man nimmt dann diese Linse aus dem einfassenden Ringe heraus und bringt dafür an ihre Stelle das Object. Die relative Grösse des Objects und der Luftblase muss der Art sein, dass das Bild schon sehr klein ist, wenn das Object noch nahe dem Objecttische sich befindet. Wird es dann allmälig von diesem, also von der Luftblase entfernt, so fällt es nicht schwer, die genaue Grenze zu finden, wo das Bildchen bei der angewendeten Vergrösserung nur noch eben sichtbar ist.

Natürlich ist es nicht möglich, die Grösse dieser kleinsten noch sichtbaren Bildchen durch directe Messung zu bestimmen, da unsere besten mikrometrischen Methoden hierzu nicht ausreichen. Gleichwohl lässt sich diese Grösse mit grosser Genauigkeit auf folgende Weise ermitteln. An die Stelle des früher gebrauchten kleinen Objects und in ganz gleicher Entfernung von der Luftblase bringt man einen viel grösseren Gegenstand, etwa ein Stück Kartenblatt von 4 bis 5 Centimeter Durchmesser, der vorher genau bestimmt worden ist. Nun misst man durch eine der mikrometrischen Methoden (wovon später umständlicher die Rede sein wird) das

*) Folgendes Beispiel kann zum Beweise dienen. Ich brachte eine Blattseite eines gedruckten Buches in solcher Entfernung unter eine Luftblase, dass das Bild der ganzen Blattseite nur $^1/_7{}^{mm}$ lang war, und das Bildchen des einzelnen Buchstabens nur $^1/_{180}{}^{mm}$ Länge hatte. Ungeachtet dieser Kleinheit hatten diese bei auffallendem Lichte erzeugten Bildchen noch so viel Schärfe und Helligkeit, dass bei einer 154maligen Vergrösserung die ganze Blattseite ohne Mühe lesbar war.

auf der Luftblase entstehende Bild, als wäre es ein wirkliches Object. Dividirt man dann mit dem gefundenen Durchmesser in den Durchmesser des benutzten Objects, so erhält man die Verkleinerungszahl, die für alle in die nämliche Entfernung gebrachten Gegenstände gültig ist. Man braucht daher nur in den Durchmesser des zuerst benutzten kleineren Objects durch diese Verkleinerungsziffer zu dividiren, so erhält man die wahre Grösse des eben noch sichtbaren Bildchens. Der Durchmesser des grösseren Objects sei z. B. 5 Centimeter, und sein Bild messe $32{,}2^{mm}$, so ist die Verkleinerungsziffer $= \frac{50000}{32{,}2} = 1553$. Hat dann das kleinere Object einen Durchmesser von 175 Mmm., so ist der Durchmesser seines noch eben sichtbaren Bildes $= {}^{175}/_{1553} = 0{,}113$ Mmm. oder ${}^{1}/_{8856}{}^{mm}$. Benutzt man genauere mikrometrische Methoden, so ist es möglich, auf diesem Wege die Grösse des Bildchens bis zu Millionteln des Millimeters mit Sicherheit zu bestimmen.

Man hat nur dafür zu sorgen, dass die Grösse der benutzten Luftblase nicht durch Temperaturwechsel eine Veränderung erleidet, wovon man indessen nur wenig zu besorgen hat, wenn die Bestimmung der Verkleinerungsziffer der Bestimmung der Sichtbarkeitsgrenze unmittelbar nachfolgt, und wovon man sich noch zum Ueberflusse überzeugen kann, wenn man das Luftbild selbst vor und nach der Beobachtung misst.

In der Wahl der Objecte zu diesen Bestimmungen steht ein grosses Feld offen. Um die Sichtbarkeitsgrenzen runder und langer fadenförmiger Objecte auf einem durch den Spiegel beleuchteten Hintergrunde zu finden, können Körnchen von Perlsago, kleine Samenkörner, z. B. Senfsamen, die Pollenkörnchen vieler Pflanzen, Haare von Thieren, Draht u. s. w. benutzt werden. Kleine runde Oeffnungen und Spalten kann man auch dazu verwenden, die Sichtbarkeitsgrenzen positiver Lichtbilder zu bestimmen. Nur muss im letzteren Falle dafür gesorgt werden, dass durch passend angebrachte Futterale und Schirme alles Licht abgehalten wird, mit Ausnahme des durch die Oeffnung tretenden. Um die Grenzen der Unterscheidbarkeit zu bestimmen, eignet sich ganz gut ein Drahtgeflecht, oder wenn man an einer geschwärzten Platte zwei Oeffnungen dicht bei einander anbringt, deren Bilder dann im Mikroskope sich ganz so darstellen, wie ein Doppelstern durch ein Teleskop betrachtet. Man kann auch die Objecte verschiedenartigen Einflüssen aussetzen, um deren Wirkung auf die Sichtbarkeitsgrenzen kennen zu lernen. So kann man ein dünnes gläsernes Haarröhrchen in Wasser tauchen und als Object benutzen, damit die zarten organischen Röhrchen und Fasern nachahmend, die auch unter Wasser wahrgenommen werden, deren Sichtbarkeitsgrenze aber natürlich nicht so weit geht, als jene ganz undurchsichtiger Objecte u. s. w.

Es gestattet diese Methode zahllose Modificationen und ihre Anwendbarkeit ist demnach eine sehr ausgedehnte. Unter Beachtung der nöthigen Vorsichtsmaassregeln liefert sie auch sichere und vergleichbare

Resultate. Dazu muss aber auf Einen sehr wichtigen Umstand geachtet werden, das ist die Art der Beleuchtung. Es ist nämlich klar, dass auf einem ganz weissen Hintergrunde kleinere undurchsichtige, d. h. bei auffallendem Lichte schwarz erscheinende Objecte oder Bilder wegen des Gegensatzes noch länger sichtbar sein können, als wenn der Hintergrund graulich oder lichtblau ist. Es ist also nicht gleichgültig, ob der Spiegel sein Licht von einem weiss bewölkten, einem dunkel überzogenen oder einem hellen blauen Himmel empfängt. Künstliches Licht ist bei diesen Bestimmungen nicht anzuwenden, weil das Bild der Flamme in gleicher Weise, wie jenes vom Objecte, verkleinert wird, damit also niemals ein erleuchtetes Gesichtsfeld zu bekommen ist. Die Beobachtungen müssen daher bei Tageslicht angestellt werden, und will man vergleichbare Resultate gewinnen, dann muss der Spiegel immer nach dem blauen Himmel gerichtet sein, weil dies die einzige charakteristische Beleuchtung ist, die von Anderen genau in gleicher Weise bei den Beobachtungen benutzt werden kann. Wo es aber darauf ankommt, die äussersten Sichtbarkeitsgrenzen bei einer mehr geeigneten Beleuchtung zu bestimmen, da können auch besondere Beobachtungen zu dem Ende angestellt werden. Man wird übrigens finden, dass zu diesen Bestimmungen, selbst wenn bedeutende Vergrösserungen in Anwendung kommen, ein flacher Spiegel vollständig ausreicht, da in dem durch die Luftblase erzeugten Bilde des Gesichtsfeldes alle Strahlen zusammengedrängt sind, welche vom Spiegel ausgehen, dasselbe also eine ausreichende Lichtstärke besitzt.

Um die Anwendbarkeit dieser Methode durch ein Beispiel deutlicher 241
zu machen, theile ich hier die Resultate mit, zu denen ich schon vor vielen Jahren durch ein Amici'sches Mikroskop vom Jahre 1835 kam. Ist auch dieses Instrument, wenn man die Zeit seiner Anfertigung berücksichtigt, ein ganz vortreffliches, so wird es doch von solchen übertroffen, die späterhin, auch von Amici selbst, erbaut worden sind, wie im historischen Theile dieses Werkes nachgewiesen werden wird. Ich hebe dies ausdrücklich hervor, damit man nicht aus den mitzutheilenden Resultaten auf die Grenzen des optischen Vermögens unserer gegenwärtigen Mikroskope einen Schluss ziehe; denn diese liegen jetzt bedeutend weiter. Die Folgerungen, die sich daraus ziehen lassen, bleiben aber der Hauptsache nach unverändert, wenn auch die Zahlen sich modificiren.

Es gehören zu diesem Mikroskope zehn achromatische Doppellinsen, welche sich auf verschiedene Art combiniren lassen. Vier von diesen Combinationen sind zur Untersuchung benutzt worden. Die Brennweiten dieser Systeme oder richtiger ihrer äquivalenten Linsen, nach der im §. 116 angegebenen Methode bestimmt, sind:

Nr. 1	28,00^{mm}
2	8,86
3	6,89
4	3,87.

Sodann gehören fünf Oculare dazu, von denen ich jedoch das am stärksten vergrössernde aus Gründen nicht benutzte und mit einem Oculare aus einem Dollond'schen Mikroskope vertauschte, welches schwächer als irgend eines der Amici'schen Oculare ist. Dieses Dollond'sche Ocular wird mit Nr. 1 bezeichnet, und darauf folgen die Nummern der Amici'schen Oculare nach ihrer Vergrösserung.

Für negative Gesichtseindrücke wurde immer das Licht benutzt, welches von einer möglichst gleichmässigen dünnen weiss bewölkten Luft ausstrahlt. Wie wichtig für genaue und vergleichbare Resultate eine stets gleichbleibende Beleuchtung ist, das wird sich weiterhin herausstellen. Ich muss aber ausdrücklich bemerken, dass ich zwar mit Sorgfalt eine Gleichmässigkeit der Beleuchtung erstrebt habe, dieselbe aber wegen Unbeständigkeit des Himmels nur ungemein schwer zu erlangen ist, und diesem Umstande schreibe ich daher auch grossentheils die Unregelmässigkeiten zu, die sich trotz aller möglichen Vorsicht doch noch in den erhaltenen Resultaten kund geben.

Negative Gesichtseindrücke.

Linsensystem.	Ocular.	Vergrösserung.	Durchmesser des kleinsten noch sichtbaren Bildes:	
			Runde Objecte.	Drahtförmige Objecte.
Nro. 1	Nro. 1	50	2,415 Mmm. = $^1/_{414\,mm}$	0,194 Mmm. = $^1/_{5150}$^{mm}
"	2	90	1,640 = $^1/_{610}$	
"	3	117	1,440 = $^1/_{694}$	
Nro. 2	1	154	0,492 = $^1/_{2040}$	0,049 Mmm. = $^1/_{20500}$
"	2	277	0,421 = $^1/_{2380}$	
"	3	362	0,400 = $^1/_{2500}$	
Nro. 3	1	206	0,352 = $^1/_{2840}$	0,036 Mmm. = $^1/_{27800}$
"	2	371	0,347 = $^1/_{2880}$	
"	3	484	0,332 = $^1/_{3010}$	
"	4	608	0,480 = $^1/_{2016}$	
Nro. 4	1	374	0,246 = $^1/_{4070}$	0,027 Mmm. = $^1/_{37000}$
"	2	675	0,261 = $^1/_{3840}$	
"	3	877	0,249 = $^1/_{4010}$	
"	4	1122	0,356 = $^1/_{2800}$	0,063 Mmm. = $^1/_{16000}$
"	5	1830	0,333 = $^1/_{3000}$	0,059 Mmm. = $^1/_{17000}$

Schon bei einer oberflächlichen Betrachtung dieser Resultate ergiebt sich, dass das eigentliche optische Vermögen eines Mikroskops fast nur in den Objectivsystemen liegt, und dass eine stärkere Vergrösserung, welche durch Oculare erzielt wird, dieses Vermögen nur wenig oder gar nicht steigert. Es ergiebt sich aber auch zugleich, dass stärkere Oculare bei den schwächeren Objectivsystemen zwar noch einige Vortheile bringen, dass aber bei den stärksten Objectivsystemen das optische Vermögen schon mit dem schwächsten Ocular und einer 374 maligen Vergrösserung den Höhepunkt erreicht hat. Nimmt die Vergrösserung durch Anwendung stärkerer Oculare zu, so gewinnt man nicht allein nichts, sondern es tritt sogar eine Abnahme in der Sichtbarkeit der Objecte ein.

Demnach ist diese Tabelle der beste Beweis für die schon mehrmals wiederholte Bemerkung, dass das optische Vermögen eines Mikroskops nicht gleichbedeutend ist mit dessen Vergrösserungskraft, vielmehr das erstere von der letzten fast ganz unabhängig ist.

Vergleicht man ferner die Resultate, welche sich für runde und für längliche Objecte herausstellen, so findet man für deren Sichtbarkeit ziemlich das nämliche Verhältniss, wie bei der Beobachtung mit blossem Auge, nämlich ungefähr ein Verhältniss wie 1 : 10.

Da die Wahrnehmbarkeit positiver Gesichtseindrücke, wie weiter 242
oben nachgewiesen wurde, grossentheils nur von der Intensität des Lichts abhängt, welches von den Objecten ausstrahlt, so haben auch Bestimmungen über die Grenzen ihrer Sichtbarkeit, insoweit die Grösse der Objecte dabei in Betracht kommt, einen geringeren Werth. Ich will indessen doch folgende Beobachtungen anführen, die bei dunkelem Himmel und regnerischem Wetter angestellt worden sind.

Positive Gesichtseindrücke.

Linsen-system.	Ocular.	Vergrösserung.	Durchmesser des sichtbaren Bildes:	
			Runde Oeffnung.	Spalt.
Nr. 1.	Nr. 1.	50	0,502 Mmm. = $^1/_{1994}$ mm	0,0532 Mmm. = $^1/_{18800}$ mm
2.	»	154	0,150 = $^1/_{6666}$	0,0177 = $^1/_{56500}$
3.	»	206	0,103 = $^1/_{9710}$	
4.	»	374	0,098 = $^1/_{10160}$	

Man ersieht, dass ungeachtet der ungünstigen Umstände, wobei nur ein sehr schwaches Licht durch die Oeffnung drang, die positiven Ge-

sichtseindrücke doch weit feiner wahrnehmbar sind als die negativen, wie dies auch schon beim Sehen mit blossem Auge angegeben wurde. Dass in diesen Zahlen noch lange nicht die äussersten Grenzen der Sichtbarkeit ausgedrückt sind, folgt aus den mit blossem Auge angestellten Beobachtungen, welche darthaten, dass eine Oeffnung, durch welche Sonnenlicht fällt, 11 Male kleiner sein kann, als jene, welche bei dunkel bewölktem Himmel beobachtet wird. Verhält sich, wie es doch wahrscheinlich ist, die Sache bei mikroskopischer Beobachtung ähnlich, so würde unter Benutzung einer 374maligen Vergrösserung und durchfallenden Sonnenlichts eine runde Oeffnung noch sichtbar sein, auch wenn sie weniger als $^1/_{110000}{}^{mm}$ misst.

Ich habe es wirklich nicht vermocht, positive Lichtbildchen von solcher Kleinheit zu erzeugen, dass die Sichtbarkeitsgrenzen bei durchfallendem Sonnenlichte erreicht worden wären, und das ist auch der Grund, warum in der letzten Columne die Sichtbarkeitsgrenzen einer Spalte bei schwachem durchfallenden Lichte bei den beiden stärkeren Vergrösserungen nicht ausgefüllt worden sind. Die Vergleichung mit den Zahlen der vorigen Columne lehrt jedoch, dass eine Spalte 8 bis 9 Male leichter sichtbar ist, als eine runde Oeffnung, weshalb man dann annehmen darf, bei 374maliger Vergrösserung werde eine $^1/_{80000}{}^{mm}$ messende Spalte bei dem schwachen benutzten Lichte noch sichtbar sein. Angenommen dann, dass bei durchfallendem Sonnenlichte die Wahrnehmbarkeit um das 11fache wächst, so würde eine Spalte, die weniger als $^1/_{880000}{}^{mm}$ misst, noch sichtbar sein können.

243 Um die Unterscheidbarkeit der Gesichtseindrücke durchs Mikroskop zu bestimmen, habe ich mich der nämlichen Objecte wie bei der Prüfung durchs blosse Auge bedient, nämlich eines Drahtgeflechts und zweier runder Oeffnungen in einem geschwärzten Plättchen. Wie bei den früheren Versuchen, wurde das Licht eines bewölkten Himmels benutzt. Es wurden aber folgende Resultate erhalten.

Unterscheidbarkeit der Maschen eines Drahtgeflechts.

Linsen-system.	Ocular.	Vergrösserung.	Durchmesser der Bilder eben noch zu unterscheidender	
			Drähte.	Interstitien.
Nr. 1	Nr. 1	50	0,970 Mmm. = $^1/_{1030}$ mm	1,532 Mmm. = $^1/_{653}$ mm
»	2	90	0,921 = $^1/_{1087}$	1,455 = $^1/_{687}$
»	3	117	0,918 = $^1/_{1090}$	1,450 = $^1/_{690}$
Nr. 2	1	154	0,349 = $^1/_{2870}$	0,551 = $^1/_{1816}$
»	2	277	0,329 = $^1/_{2970}$	0,520 = $^1/_{1920}$
»	3	362	0,336 = $^1/_{2980}$	0,531 = $^1/_{1882}$
Nr. 3	1	206	0,293 = $^1/_{3410}$	0,463 = $^1/_{2160}$
»	2	371	0,288 = $^1/_{3440}$	0,455 = $^1/_{2200}$
»	3	484	0,301 = $^1/_{3320}$	0,476 = $^1/_{2100}$
Nr. 4	1	374	0,257 = $^1/_{3890}$	0,414 = $^1/_{2415}$
»	2	675	0,274 = $^1/_{3650}$	0,433 = $^1/_{2310}$
»	3	877	0,267 = $^1/_{3750}$	0,422 = $^1/_{2370}$

Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, dass das Gleiche wie von den Sichtbarkeitsgrenzen so auch von den Unterscheidungsgrenzen gilt: eine vermehrte Vergrösserung, welche durchs Ocular herbeigeführt wird, bringt nur geringe Vortheile.

Bessere Dienste scheinen stärkere Oculare bei der Unterscheidung zweier positiver Gesichtseindrücke zu leisten, wie man aus folgender Tabelle entnehmen kann.

Unterscheidbarkeit zweier runder Oeffnungen.

Linsen-system.	Ocular.	Vergrösserung.	Durchmesser der Bilder eben noch zu unterscheidender	
			Oeffnungen.	Interstitien.
Nr. 1	Nr. 1	50	1,175 Mmm. = $^1/_{852}$ mm	2,350 Mmm. = $^1/_{426}$ mm
»	2	90	0,895 = $^1/_{1118}$	1,790 = $^1/_{559}$
»	3	117	0,835 = $^1/_{1196}$	1,670 = $^1/_{598}$
Nr. 2	1	154	0,344 = $^1/_{2900}$	0,688 = $^1/_{1450}$
»	2	277	0,319 = $^1/_{3136}$	0,638 = $^1/_{1568}$
»	3	362	0,294 = $^1/_{3400}$	0,588 = $^1/_{1698}$
Nr. 3	1	206	0,301 = $^1/_{3326}$	0,601 = $^1/_{1663}$
»	2	371	0,298 = $^1/_{3350}$	0,597 = $^1/_{1675}$
»	3	484	0,293 = $^1/_{3418}$	0,585 = $^1/_{1709}$
Nr. 4	1	374	0,310 = $^1/_{3210}$	0,620 = $^1/_{1610}$
»	2	675	0,294 = $^1/_{3410}$	0,587 = $^1/_{1705}$
»	3	877	0,292 = $^1/_{3430}$	0,583 = $^1/_{1715}$

Es geben sich übrigens in den vorstehenden Tabellen verschiedene Unregelmässigkeiten kund, die sich leicht daraus erklären, dass die unbedeutendste Veränderung im durchfallenden Lichte von grossem Einflusse sein muss. Gerade deshalb sind sie aber zu unsicher, um einen bestimmten Schluss zu erlauben. Nur soviel ist klar, dass wie beim Sehen mit blossem Auge, so auch beim mikroskopischen Beobachten zwei positive Gesichtseindrücke schwerer zu unterscheiden sind, als wenn viele positive und negative Gesichtseindrücke mit einander wechseln. Weiterhin wird es sich aber herausstellen, dass die mikroskopische Beobachtung einigermaassen im Vortheile ist.

244 Endlich kommt auch noch die Erkennbarkeit der Form der Körper durch das Mikroskop in Betracht. In der folgenden Tabelle sind die dafür gefundenen Grenzen zusammengestellt.

Erkennbarkeit eines Vierecks.

Linsen-system.	Ocular.	Vergrösse-rung.	Durchmesser des noch als Viereck erkennbaren Bildes.	Verhältniss zwischen Sichtbarkeit und Erkennbarkeit der Formen.
Nr. 1	Nr. 1	50	7,000 Mmm. = $^1/_{145}$ mm	1 : 2,89
»	2	90	4,648 = $^1/_{217}$	1 : 3,23
»	3	117	4,163 = $^1/_{240}$	1 : 2,54
Nr. 2	1	154	1,870 = $^1/_{535}$	1 : 3,80
»	2	277	1,352 = $^1/_{722}$	1 : 3,21
»	3	362	1,280 = $^1/_{780}$	1 : 3,20
Nr. 3	1	206	1,520 = $^1/_{658}$	1 : 4,32
»	2	371	1,053 = $^1/_{950}$	1 : 3,03
»	3	484	0,909 = $^1/_{1100}$	1 : 2,74
»	4	608	0,895 = $^1/_{1115}$	1 : 1,87
Nr. 4	1	374	0,981 = $^1/_{1020}$	1 : 4,00
»	2	675	0,800 = $^1/_{1250}$	1 : 3,06
»	3	877	0,765 = $^1/_{1310}$	1 : 3,07
»	4	1122	0,728 = $^1/_{1370}$	1 : 2,05
»	5	1830	0,750 = $^1/_{1330}$	1 : 2,28

Man ersieht aus diesen Zahlen, dass die Erkennbarkeit der Form nicht ganz den nämlichen Regeln folgt, wie die blosse Sichtbarkeit der Objecte. Die Grenzen der letztern werden wenig oder gar nicht erweitert, wenn man die Vergrösserung durch Oculare steigert, offenbar aber ist eine derartige Vergrösserung vortheilhaft, wenn es auf Formerkennung ankommt. Daher rühren die grossen Verschiedenheiten zwischen den Verhältnisszahlen in der letzten Columne, wobei man übrigens bis auf wenige Ausnahmen bemerkt, dass die Grenzen der Formerkennung den Sichtbarkeitsgrenzen um so näher kommen, je stärker das benutzte Ocular ist. Dass aber auch hier eine bestimmte Grenze vorhanden ist, welche nicht gut überschritten werden darf, ergiebt sich daraus, dass bei einer 1830maligen Vergrösserung (Ocular Nr. 5) das Bild, dessen Form noch erkennbar war, grösser sein musste, als bei einer 1120maligen (Ocular Nr. 4). Die letztgenannte Vergrösserung ist demnach die stärkste, die bei jenem zur Untersuchung benutzten Mikroskope unter Umständen noch verwendet werden darf, während man in der Mehrzahl der Fälle da, wo es blos aufs Sehen und Unterscheiden ankommt, mit weit schwächeren Vergrösserungen auskommen kann.

245 Im Vorhergehenden ist alles aufgeführt, was nöthig ist, um das eigentliche optische Vermögen eines Mikroskops mit jenem des blossen Auges in Vergleichung zu setzen. Es versteht sich aber von selbst, dass man bei dieser Vergleichung von der nämlichen gemeinschaftlichen mittleren Sehweite ausgehen muss, für welche die Vergrösserungen berechnet sind, d. h. von 25 Centimeter. Unter den Gruppen von Beobachtungen, die mit blossem Auge angestellt und §. 94 u. flg. mitgetheilt worden sind, findet sich immer eine, die bei jener Entfernung ausgeführt worden ist, und diese ist den in der folgenden Tabelle zusammengestellten Berechnungen zu Grunde gelegt worden.

Tabelle der Verstärkung des optischen Vermögens durch ein Amici'sches Mikroskop vom Jahre 1835, für eine Sehweite von 25 Centimeter.

Linsensystem.	Ocular.	Vergrösserung.	Sichtbarkeit. Negative Gesichtseindrücke. Runde undurchsichtige Objecte. Wirkliche Verstärkung.	Verlust.	Lange fadenförmige Objecte. Wirkliche Verstärkung.	Verlust.	Positive Gesichtseindrücke. Runde Oeffnungen bei schwachem durchfallendem Lichte. Wirkliche Verstärkung	Verlust.	Unterscheidbarkeit. Drahtgeflecht mit viereckigen Maschen. Wirkliche Verstärkung.	Verlust.	Zwei runde Oeffnungen bei durchfallendem Lichte. Wirkliche Verstärkung.	Differenz.	Erkennung der Form. Wirkliche Verstärkung.	Verlust.
Nr. 1	Nr. 1	50	20,9	0,58	24,2	0,52	23,7	0.53	39,5	0,20	63,5	0,27 Gew.	38,0	0,24
»	2	90	30,8	0,66	—	—	—	—	41,6	0,54	83,3	0.08 Verl.	57,6	0,36
»	3	117	35,1	0,70	—	—	—	—	41,7	0,65	89,3	0,24 Verl.	63,7	0,40
Nr. 2	1	154	102,9	0,33	98,0	0,36	80,0	0,48	109,7	0,28	216,8	0,40 Gew.	142,3	0,07
»	2	277	119,3	0,57	—	—	—	—	116,4	0,58	233,9	0,15 Verl.	196,7	0,29
»	3	362	125,2	0,66	—	—	—	—	114,0	0,68	253,7	0,30 Verl.	207,8	0,43
Nr. 3	1	206	144,3	0,30	133,3	0,35	115,5	0,40	130,8	0,31	247,8	0,20 Gew.	175,0	0,15
»	2	371	145,5	0,60	—	—	—	—	133,0	0,64	250,3	0,33 Verl.	253,7	0,32
»	3	484	152,7	0,70	—	—	—	—	127,2	0,74	254,6	0,48 Verl.	292,6	0,40
»	4	608	105,2	0,83	—	—	—	—	—	—	—	—	297,2	0,51
Nr. 4	1	374	205,3	0,45	177,8	0,53	132,2	0,65	149.0	0,60	240,7	0,35 Verl.	271,2	0,28
»	2	675	193,3	0,70	—	—	—	—	139,8	0,79	253,7	0,63 Verl.	332,5	0,50
»	3	877	202,8	0,77	—	—	—	—	143,4	0,84	255,0	0,71 Verl.	347,6	0,60
»	4	1122	141,8	0,87	76,2	0,93	—	—	—	—	—	—	365,4	0,67
»	5	1830	151,3	0,92	81,4	0,96	—	—	—	—	—	—	354,7	0,81

Diese Tabelle ist folgender Weise zusammengestellt worden. Die Zahl der wirklichen Verstärkung des optischen Vermögens wurde erhalten, indem man den Durchmesser des bei einer bestimmten Vergrösserung noch sichtbaren Bildes mit dem Durchmesser des Bildes dividirte, welches in der genannten Entfernung noch mit blossem Auge sichtbar ist. Die Zahl des Verlustes oder, was auch ein paar Mal vorkommt, die Zahl des Gewinnes bezeichnet nichts anderes, als das Verhältniss zwischen der wirklichen Verstärkung und der benutzten Vergrösserung: sie wird dadurch gefunden, dass man den Verstärkungswerth vom Vergrösserungswerthe (oder umgekehrt) abzieht, und den Rest, welcher den absoluten Gewinn oder Verlust ausdrückt, mit der Vergrösserungszahl dividirt, um den relativen Werth zu erhalten.

Der Deutlichkeit wegen füge ich als Beispiel die Berechnung der ersten Zahlen in der Tafel bei. Das kleinste runde in 25 Centimeter Entfernung noch sichtbare Object hat einen Durchmesser von 50,5 Mmm. Bei einer 50maligen Vergrösserung kann man noch ein solches Körperchen von 2,415 Mmm sehen. Die wirkliche Verstärkung des optischen Vermögens ist daher $= \frac{50{,}5}{2{,}415} = 20{,}9$, und der relative Verlust der Vergrösserungszahl ist $= \frac{50 - 20{,}9}{50} = 0{,}58$.

Aus den Columnen der Tabelle ersieht man, dass, mit einer einzigen Ausnahme, beim mikroskopischen Sehen im Vergleich zum Sehen mit blossem Auge immer ein mehr oder weniger grosser Verlust stattfindet. Dies ist ein Beweis dafür, dass das Mikroskop von der optischen Vollkommenheit des Auges noch weit entfernt ist. Man ersieht ferner aus diesen Zahlen, dass die gleichen Combinationen von Objectiven und Ocularen durchaus nicht unter verschiedenen Umständen das optische Vermögen des Auges immer in gleichem Grade verstärken, so dass man etwa, wenn die Sichtbarkeit negativer Gesichtseindrücke ermittelt worden ist, daraus auch auf die Sichtbarkeit in den übrigen Fällen schliessen dürfte. Im Gegentheil tritt es aus den Columnen deutlich hervor, dass die Sichtbarkeit, die Unterscheidbarkeit und die Erkennung der Form, die man beim optischen Vermögen unterscheiden kann, durchaus nicht gleichen Schritt halten. Besteht ja doch sogar ein ganz deutlicher Unterschied zwischen der Verstärkung der Unterscheidbarkeit, je nachdem es sich um die Maschen eines Drahtgeflechts oder um zwei runde Oeffnungen handelt.

Zum Theil rühren diese Verschiedenheiten von der Art des benutzten Instruments her. Wenn es sich blos um Sichtbarkeit handelt, so würden die Objectivsysteme, was deren Antheil am optischen Vermögen betrifft, die Reihe 3, 2, 1, 4 bilden müssen: bei Nr. 3 findet der geringste Verlust statt, bei Nr. 4 der stärkste. Ordnen wir sie dagegen nach ihrem Antheile an der Unterscheidbarkeit, dann ist die Reihenfolge 1, 2,

3, 4. Dieser Unterschied ist wesentlich der nämliche, wie er §. 222 u. flg. vom durchdringenden und begrenzenden Vermögen angeführt worden ist, die auch nicht nothwendig gleichen Schritt zu halten brauchen. Die blosse Sichtbarkeit der Objecte hängt vom ersteren ab, ihre Unterscheidbarkeit vom letzteren. Von den benutzten Objectivsystemen hat demnach Nr. 3 das stärkste durchdringende, Nr. 1 das stärkste begrenzende Vermögen.

Die durchgreifenden Verschiedenheiten indessen, die in ganzen Columnen hervortreten, lassen sich nicht auf Rechnung des Instruments bringen, sie rühren vielmehr von allgemeinen Ursachen her, die auch bei anderen Instrumenten vorkommen. Ich sehe von kleineren Verschiedenheiten ab, von denen es nicht ausgemacht ist, ob die bei solchen Beobachtungen unvermeidlichen Fehler darauf von Einfluss waren, und halte mich im Besondern an die Unterscheidbarkeit zweier runder Oeffnungen in einem sonst dunkeln Gesichtsfelde. Hier begegnen wir der auf den ersten Blick auffallenden Erscheinung, dass mehrmals, namentlich wenn die drei schwächsten Objectivsysteme mit dem schwächsten Oculare combinirt sind, gar kein Verlust eintritt, sondern sogar ein Ueberschuss über die Vergrösserungsziffer. Die Sache erklärt sich aber einfach und reiht sich an die den Astronomen wohlbekannte Thatsache an, dass Sterne, welche durchs Teleskop betrachtet werden, weit weniger irradiiren, als beim Betrachten mit blossem Auge. Auch wurde schon durch Plateau (Poggendorf's Annal. Ergänz. Bd. I, S. 433) dargethan, dass die Irradiation durch Vergrösserungsgläser im Allgemeinen abnimmt. Da nun zwei solche Oeffnungen um so leichter sich unterscheiden lassen, je grösser das Interstitium zwischen ihren Netzhautbildern ist, auf welches kein Lichteindruck fällt, so ist es klar, dass nur dieser durchs Mikroskop bewirkten Abnahme der Irradiation jenes vortheilhafte Verhältniss zugeschrieben werden darf. Allein ungeachtet dieses günstigen Verhältnisses hält es doch immer schwerer, zwei positive Gesichtseindrücke zu unterscheiden, als wenn positive und negative Gesichtseindrücke, die in Ausdehnung wenig von einander differiren, mit einander abwechseln.

Suchen wir für die kleinsten durchs Mikroskop noch wahrnehmbaren Interstitien die entsprechenden Gesichtswinkel, so erhalten wir folgende Werthe:

Für den dunkeln Raum in einem Systeme mit einander wechselnder Drähte und Interstitien	0,2″
Für ein helles Interstitium in einem solchen Systeme . . .	0,3″
Für das dunkle Interstitium zwischen zwei Lichtbildern . .	0,4″

Struve fand, dass mittelst des Refractors in Dorpat bei einer 1000maligen Vergrösserung und unter begünstigenden Umständen ein Doppelstern als solcher noch erkannt werden kann, dessen Sterne 0,3″ von einander abstehen. Man ersieht hieraus, dass die Grenzen des Un-

terscheidungsvermögens in diesen beiden einander nahe verwandten Instrumenten einander ziemlich gleich sind.

246 Die bisherigen Angaben beziehen sich nur auf die Grenzen des optischen Vermögens für das untersuchte Mikroskop und unter bestimmten günstigen Umständen. Die oben erwähnten Beobachtungen nämlich sind insgesammt an solchen Objecten angestellt worden, die entweder selbst als leuchtende betrachtet werden können oder aber ganz undurchsichtig sind, und im letzteren Falle wurde stets eine Beleuchtung angewendet, die erfahrungsmässig am meisten sich dazu eignet, negative Gesichtseindrücke wahrnehmbar zu machen. Man darf aber daraus noch nicht im Allgemeinen einen Schluss ziehen auf die Grenzen der Sichtbarkeit mikroskopischer Objecte, da ja die meisten Objecte der Art durchaus nicht undurchsichtig sind, sondern im Gegentheil sehr durchscheinend; so geschieht es denn, dass nur ein Theil ihres Bildes auf der Netzhaut einen negativen Gesichtseindruck macht, und ein anderer Theil gar nicht wahrgenommen wird, weil der entsprechende Theil des Objects die Strahlen unverändert durchgehen lässt. In §§. 97 und 98 ist nachgewiesen worden, dass die verhältnissmässige Grösse dieses sichtbaren und unsichtbaren Theils von zweierlei abhängig ist, einmal nämlich von der Form des Objects und zweitens von der Verschiedenheit zwischen seinem Brechungsvermögen und jenem des umgebenden Mediums. Es wird nicht unpassend sein, wenn dies hier durch ein paar Beobachtungen erläutert wird, aus denen sich zugleich entnehmen lässt, welches die kleinsten organischen Körper sind, die noch durchs Mikroskop erkannt werden können. Ich habe dazu am liebsten gewöhnliches Glas genommen, weil dessen Brechungsindex nicht viel höher steht, als bei den meisten organischen Geweben, was daraus folgt, dass die meisten getrockneten thierischen und pflanzlichen Gewebe in Canadabalsam fast ganz unsichtbar werden, und dessen Brechungsindex ist 1,532, der auch ungefähr den meist gebräuchlichen Glassorten zukommt.

Dass unter den organischen Substanzen in dieser Beziehung noch manche Verschiedenheit vorkommt, versteht sich von selbst. Soviel steht indessen jedenfalls fest: wenn das Bild eines glasigen Objects von bestimmter Gestalt, welches zugleich in besonderen Verhältnissen sich befindet, nicht mehr sichtbar ist, so wird dies noch mehr oder noch eher bei einem durchsichtigen organischen Körper vorkommen, der gleiche Grösse und Form hat und sich in den nämlichen Verhältnissen befindet.

Um die Zahlen nicht nutzlos zu häufen, führe ich blos die Beobachtungen mit den Objectivsystemen Nr. 2 und 4 und mit dem Oculare Nr. 1 an. Durch die letztangeführte Combination hat, wie wir sahen, das optische Vermögen, so weit es sich nämlich um die Sichtbarkeit handelt, den Höhepunkt erreicht.

Folgende Objecte wurden benutzt:

a) Ein Glaskügelchen.

b) Ein rundes hohles Glaskügelchen, mit einer Oeffnung versehen, um Flüssigkeit eindringen zu lassen; die Dicke der Glaswand betrug $^1/_{11}$ des gesammten Durchmessers.

c) Ein nicht hohler Glasfaden.

d) Ein gläsernes Haarröhrchen, auf dessen Wandung $^1/_9$ der gesammten Dicke kam.

e) Ein viereckiges gläsernes Täfelchen, dessen Durchmesser die Dicke 15,7 Male übertraf.

f) Ein viereckiges Glimmerplättchen, welches wegen einiger Risse und Flecken weniger durchscheinend war als e), dessen Breite aber die Dicke 57 Male übertraf.

Objecte.	Vergrösserung.	Durchmesser der kleinsten sichtbaren Bildchen in	
		Luft.	Wasser.
a. Glaskügelchen . . .	154	0,554 Mmm. = $^1/_{1805}$ mm	0,658 Mmm. = $^1/_{1520}$ mm
Desgl.	374	0,289 = $^1/_{3500}$	0,436 = $^1/_{2300}$
b. Hohles Glaskügelchen	154	1,123 = $^1/_{890}$	1,321 = $^1/_{757}$
Desgl.	374	0,525 = $^1/_{1900}$	0,878 = $^1/_{1140}$
c. Glasfaden	154	0,102 = $^1/_{9800}$	0,168 = $^1/_{5950}$
Desgl	374	0,052 = $^1/_{19300}$	0,097 = $^1/_{10300}$
d. Glasröhrchen	154	0,205 = $^1/_{4900}$	0,352 = $^1/_{2840}$
Desgl.	374	0,149 = $^1/_{7600}$	0,259 = $^1/_{3800}$
e. Glastäfelchen	154	3,000 = $^1/_{333}$	4,072 = $^1/_{233}$
Desgl.	374	2,144 = $^1/_{466}$	2,970 = $^1/_{337}$
f. Glimmerplättchen . .	154	1,820 = $^1/_{550}$	2,263 = $^1/_{442}$
Desgl.	374	0,988 = $^1/_{1010}$	1,412 = $^1/_{708}$

Um die Sichtbarkeit durchsichtiger Objecte mit jener undurchsichtiger Objecte bequemer in Vergleichung bringen zu können, setze ich hier den Durchmesser der kleinsten sichtbaren Bildchen der letzteren nach der Tabelle im §. 241 her:

Runde Objecte bei 154facher Vergrösserung 0,492 Mmm = $^1/_{2040}$ mm
" " " 374 " " 0,246 = $^1/_{4070}$
Lange " " 154 " " 0,049 = $^1/_{20500}$
" " " 374 " " 0,027 = $^1/_{37000}$

Aus diesen Beobachtungen lassen sich verschiedene nicht unwichtige Folgerungen ziehn:

1) Man ersieht, dass ein vollkommen durchsichtiges kugeliges Körperchen, das nicht hohl ist, in der Luft einem ganz undurchsichtigen nur

wenig an Sichtbarkeit nachsteht. Selbst unter Wasser sind noch sehr kleine Körperchen der Art sichtbar. Hieraus dürfen wir schliessen, dass z. B. Fettkügelchen von $^1/_{2000}$ mm Durchmesser unterm Mikroskope noch sichtbar sein können. Der Verlust an Sichtbarkeit im Vergleich zu einem ganz undurchsichtigen Körper beträgt hier weniger als 0,5.

2) Sobald das runde Körperchen hohl ist, verliert es viel an Sichtbarkeit. Eine von Wasser umgebene organische Zelle, deren Wand im Verhältniss zum Durchmesser gleich dick wäre, als das hier benutzte hohle Glaskügelchen (b), würde, den nämlichen Brechungsindex vorausgesetzt, nicht mehr sichtbar sein, sobald sein Durchmesser unter $^1/_{1140}$ mm fiele. Wäre diese Zelle ein ganz undurchsichtiges Körperchen, dann könnte sie etwa 3,6 Male kleiner werden, ehe sie unsichtbar würde.

3) Bei fadenförmigen durchsichtigen Körpern ist der Verlust an Sichtbarkeit bemerklicher als bei runden. Aus den für Nr. c erhaltenen Resultaten darf man schliessen, dass eine organische Faser von noch nicht $^1/_{10200}$ mm Dicke unter Wasser nicht mehr zu erkennen ist, das heisst also dann, wenn sie noch 3,7 Male dicker ist, als ein die Grenzen der Sichtbarkeit erreichender undurchsichtiger draht- oder fadenförmiger Körper.

4) Nach den für Nr. d erhaltenen Resultaten würde ein organisches Röhrchen in Wasser bereits bei einem Durchmesser von $^1/_{3800}$ mm unsichtbar werden, also bei einer 10 Mal grösseren Dicke als jene, bei welcher ein undurchsichtiger Faden die Sichtbarkeit verliert; es müsste denn die relative Dicke der Röhrchenwand grösser sein, als bei dem benutzten Glasröhrchen.

5) In einem noch bedeutendern Maasse nimmt die Sichtbarkeit tafelförmiger durchscheinender Körperchen ab, wie es sich für Nr. e herausstellte. Vorausgesetzt, runde und viereckige Körper haben die nämlichen Sichtbarkeitsgrenzen, dann muss z. B. ein durchsichtiges Krystallplättchen, bei dem Dicke und Breite in dem angegebenen Verhältniss von 1 : 15,7 stehen, wenn es in Wasser liegt und noch gesehen werden soll, 12 Male grösser sein, als ein undurchsichtiges in Wasser liegendes Plättchen. Daher kommt es auch, dass die meisten Krystalle in dem Momente, wo sie sichtbar werden, bereits ziemlich gross sind, so dass man ihre Form fast in dem nämlichen Augenblicke erkennt, wo sie sichtbar werden. (Vgl. meinen Aufsatz in der *Tydschr. v. Nat. Gesch. en Phys.* 1843: *Ueber Entstehung, ursprüngliche Form und nachfolgende Veränderungen der präcipirten organischen und anorganischen Substanzen, im Besonderen über die Erscheinungen bei der Krystallbildung.*) Gehören die Krystalle zu jenen, welche beim ersten Erscheinen plattenförmig sind, dann können diese Plättchen freilich sehr dünn sein. Das noch erkennbare Bildchen des Glasplättchens unter Wasser hat bei 374maliger Vergrösserung nur eine Dicke von $^1/_{5300}$ mm und in der Luft nur von $^1/_{7400}$ mm.

6) Ein organisches Häutchen ist im Allgemeinen nicht so vollkom-

men durchscheinend, als ein Glas- oder Krystallplättchen; seine Wahrnehmbarkeit wird durch kleine anhängende Molekeln, durch Unebenheiten, durch Falten u. s. w. befördert. Damit correspondiren einigermaassen die unter Nr. f verzeichneten Resultate. Das Glimmerblättchen war 3,6 Mal dünner als das Glastäfelchen e; aber wegen seiner unvollkommenen Durchsichtigkeit waren noch Bilderchen davon wahrnehmbar, die reichlich 2 Mal kleiner waren als die kleinsten Bilder des Glastäfelchens. Dabei war die Dicke 7,7 Mal geringer; sie betrug $^1/_{40400}{}^{mm}$ bei dem in Wasser befindlichen, und $^1/_{57570}{}^{mm}$ bei dem in der Luft betrachteten Plättchen.

Uebrigens brauche ich wohl kaum zu bemerken, dass alle vorstehenden Zahlen nur als Beispiele und als Annäherungswerthe zu betrachten sind und kein genaues Maass der Sichtbarkeit ausdrücken, da diese für jedes Mikroskop und für jedes Object immer wieder variirt.

Endlich muss ich hier noch eine Bemerkung beifügen, die sich an 247
eine mit dem blossen Auge zu machende und §. 87 beschriebene Beobachtung anschliesst, dass nämlich die allerkleinsten sichtbaren Objecte oder Bildchen nicht mehr vollkommen scharf, sondern etwas diffus wahrgenommen werden. Man kann die Sache auch so ausdrücken, dass ein mikroskopisch betrachtetes Object, welches wegen seiner Kleinheit der Sichtbarkeit verlustig wird, sobald es sich in jener richtigen Entfernung vom Mikroskope befindet, bei welcher ein scharfes Netzhautbild desselben entsteht, doch noch erkannt werden kann, sobald diese Entfernung etwas abgeändert wird und nun ein zwar diffuses, aber doch etwas grösseres Netzhautbild entsteht. Daher kommt es, dass manche wegen ihrer grossen Durchsichtigkeit schwer wahrnehmbare Objecte, z. B. die Epithelialzellen der Luftröhre und deren Kerne, etwas deutlicher sich darstellen bei solcher Entfernung, wo ihre Ränder nicht ganz scharf erscheinen, sondern etwas verwischt, dabei aber breiter. Auch wird man bei der Annäherung zum Mikroskope oftmals beobachten, dass im Gesichtsfelde Streifchen und Fleckchen vorkommen, die noch eine ziemliche Breite besitzen, so lange sie nicht in der gehörigen Entfernung vom Mikroskope sich befinden und deshalb leicht wahrgenommen werden; sie rühren aber gleichwohl von so kleinen Körperchen her, dass sie in dem Augenblicke, wo die richtige Entfernung für Bildung eines scharf begrenzten Netzhautbildchens erreicht ist, dem Auge sich beinahe entziehen.

Ganz anders verhält es sich mit der Unterscheidung zweier Gesichtseindrücke. Hier hilft die grössere Ausbreitung der Diffusionsbildchen auf der Netzhaut nicht allein nichts, vielmehr ist sie sogar schädlich. Um auf das eben angeführte Beispiel mit den Epithelialzellen zurückzukommen, so können deren feine Cilien nur dann deutlich wahrgenommen werden, wenn das Bild einer jeden Cilie scharfe Grenzlinien hat, und aus diesem Grunde werden sie in dem Momente am deutlichsten erkannt, wo das Bild am kleinsten ist.

Zweites Buch.

Gebrauch des Mikroskops.

Erster Abschnitt.

Die mikroskopische Untersuchung im Allgemeinen.

Jede mikroskopische Untersuchung hat zum Zweck, Objecte oder Bewegungen sichtbar zu machen, die wegen ihrer Kleinheit dem blossen Auge nicht wahrnehmbar sein würden. Die ersteren sind ganze Körper oder Theile von solchen; die letzteren sind die Folge sich äussernder Kräfte, die entweder den Objecten selbst oder deren Umgebung innewohnen. 248

Dem mikroskopischen Beobachter, das Wort in der weitesten Bedeutung genommen, liefert demnach die gesammte Natur die Untersuchungsobjecte; oder, um die Sache anders auszusprechen, jeder Naturforscher, welche besondere Seite der Forschung er auch gewählt haben mag, muss mikroskopischer Beobachter sein. Chemiker und Physiker, Geologen und Mineralogen, Botaniker und Zoologen, alle stossen bei ihren Untersuchungen auf Grenzen, wo ihr Gesichtssinn nicht mehr ausreicht. Ein neues Gesichtsfeld thut sich vor jedem derselben auf, ein neues Gebiet eröffnet sich ihrer vorwärtsstrebenden Wirksamkeit, sobald sie das Mikroskop zur Hand nehmen und mit ihrem Blicke dorthin zu dringen vermögen, wo das unbewaffnete Auge Formen oder Bewegungen wahrzunehmen ausser Stande ist.

In der grossen Mehrzahl der Fälle zerfällt die mikroskopische Untersuchung in zwei Acte: 1) die Zubereitung der Objecte, wodurch sie in jenen Zustand versetzt werden, dass sie die zur mikroskopischen Beobachtung nöthigen Eigenschaften besitzen; 2) die eigentliche Beobachtung. Damit ist der Weg vorgeschrieben, welcher in diesem Buche eingeschlagen werden muss. Doch werde ich mir dabei Abweichungen von der gedachten logischen Reihenfolge erlauben, wie sie mir nöthig erscheinen, um eine grössere Deutlichkeit bei Betrachtung der hierher gehörigen Gegenstände zu erreichen. 249

250 Vorher wird es jedoch zweckmässig sein, auf die Frage einzugehen, welche Eigenschaften derjenige besitzen muss, der sich des Mikroskops zu wissenschaftlichen Untersuchungen bedienen will.

Zuvörderst mag aber von den körperlichen Eigenschaften die Rede sein. Von denen, die sich einen Theil der Naturwissenschaften zum Studium erwählt haben, werden allerdings nur wenige körperlich so verwahrlost sein, dass sie aus diesem Grunde vom Gebrauche des Mikroskops abstehen müssten, und damit ihre Vernachlässigung eines Instruments entschuldigen dürften, dessen erspriessliche Dienste ihnen nicht unbekannt sein können. Man muss jedoch auch zugeben, dass jene, welche sich speciell mit der Untersuchung des Kleinen in der Natur beschäftigen und täglich ein paar Stunden das Mikroskop handhaben, bestimmte körperliche Eigenschaften in einem vollkommneren Grade besitzen müssen, als einer, der das Mikroskop nur von Zeit zu Zeit und mehr im Vorübergehen zur Hand nimmt. Uebrigens darf nicht vergessen werden, dass einzelne derartige Eigenschaften durch Uebung sehr gestärkt und verbessert werden können.

Die wichtigsten körperlichen Erfordernisse jedes mikroskopischen Beobachters sind aber gute Augen und gute Hände. Dass er auch sonst, um längere Untersuchungen ausführen zu können, eine gute Constitution besitzen muss, dass er namentlich nicht an Congestionen zum Kopfe, an keiner erhöhten allgemeinen Reizbarkeit des Nervensystems leiden darf, versteht sich wohl von selbst und bedarf keiner weiteren Auseinandersetzung, da man sich kaum eine geistige Thätigkeit denken kann, auf welche ein krankhafter Zustand des Körpers nicht einen störenden Einfluss üben sollte.

Der Ausdruck gute Augen und gute Hände verlangt aber noch eine nähere Bestimmung: Augen, wie sie der Seemann braucht, oder Hände, die einem Zimmermann tüchtige Dienste leisten würden, sind noch keine guten für denjenigen, der sich ihrer zu mikroskopischen Untersuchungen bedienen will. Ich will bei dieser Gelegenheit auch mit angeben, wie diese Organe zur Ausführung mikroskopischer Untersuchungen am besten vorbereitet und geübt werden können.

251 Ganz gute Augen müssen folgende Eigenschaften in sich vereinigen.

1) Die durchsichtigen Medien, nämlich Hornhaut, *Humor aqueus*, Linse und *Humor vitreus*, müssen möglichst durchsichtig sein, so dass die Lichtstrahlen fast ohne Verlust bis zur Netzhaut gelangen.

2) Das Accommodationsvermögen muss es ihnen möglich machen, sehr entfernte Objecte, deren Lichtstrahlen fast parallel verlaufen, wie sehr nahe Gegenstände, deren Strahlen stark divergirend auf die Hornhaut fallen, mit gleicher Leichtigkeit und gleich scharf und deutlich zu erkennen.

3) Ihre Netzhaut muss für die schwächsten Eindrücke empfäng-

lich, dabei aber von jener krankhaften Irritabilität frei sein, in deren Folge leicht sogenannte Nachbilder entstehen, welche für die nachfolgenden Eindrücke störend sind.

4) Endlich müssen sie ohne ein besonderes Gefühl von Anspannung oder Ermüdung eine geraume Zeit lang zur Aufnahme scharfer Gesichtseindrücke verwendet werden können.

Solche vollkommene Augen kommen indessen nur selten vor. Namentlich ist das Accommodationsvermögen in der Regel ein sehr beschränktes, so dass derjenige, welcher entfernte Objecte gut sehen kann, dieselben weniger gut wahrnimmt, wenn sie nur wenige Zolle vom Auge entfernt sind. Das letztere ist aber, wenn auch keine unerlässliche Forderung, so doch ein grosser Vorzug desjenigen, der mikroskopische Untersuchungen anstellt. Je näher er die Objecte den Augen bringen kann, ohne dass Diffusionsbildchen auf der Netzhaut entstehen, um so mehr wirken seine Augen selbst schon als Mikroskop und zwar als ein solches, welches die besten Instrumente dieser Art übertrifft, sowohl in der Grösse des Gesichtsfeldes als im durchdringenden und begrenzenden Vermögen, worüber zu vergleichen ist, was oben (§. 245) über die Grenzen des optischen Vermögens des blossen Auges und des Mikroskops angeführt worden ist. 252

Darin liegt es, dass ein Myope im Allgemeinen zu mikroskopischen Untersuchungen geschickter ist als ein Presbyope. Namentlich muss der Fernsichtige beim Anfertigen feiner mikroskopischer Präparate sogleich zur Lupe greifen, während es dem Kurzsichtigen hierbei sehr zu statten kommt, dass er kleine Objecte in geringer Entfernung von seinem Auge noch scharf wahzunehmen im Stande ist. Auch können myopische Augen in der Regel eine längere Anstrengung besser vertragen, vorausgesetzt natürlich, dass sie nicht mit anderen Gebrechen behaftet sind, die bei Myopie manchmal vorkommen.

Der Myopische bringt also von Natur eine besondere Anlage mit zu jenen Verrichtungen, welche mit den meisten mikroskopischen Untersuchungen verknüpft sind. Wem jedoch diese glückliche Anlage abgeht, der vermag durch Uebung diesem Mangel grossentheils abzuhelfen. Es ist bekannt genug, dass alle Sinnesorgane durch Uebung an Schärfe gewinnen, und dass sie immer geschickter werden zu jener Art von Thätigkeit, wozu sie vorzugsweise in Gebrauch kommen. Der Seemann, der von Jugend auf immer nach dem Horizonte hinschaute, hat dadurch allmälig die Fähigkeit erlangt, seine Augen leicht und ohne Anstrengung parallelen Strahlen zu accommodiren. Ebenso wird derjenige, der mit feiner Handarbeit beschäftigt ist (und dazu gehört ein grosser Theil von den Verrichtungen des Mikroskopikers), allmälig finden, dass seine Augen immer mehr befähigt werden, für geringe Entfernungen sich zu accommodiren.

Auch noch aus einem andern Grunde werden die Augen durch an-

haltende Uebung mehr und mehr zu mikroskopischer Beobachtung geeignet. Ich habe bereits oben (§. 216) darauf aufmerksam gemacht, dass die Augen von Personen, die nicht daran gewöhnt sind, nicht in den Zustand von Ruhe kommen, welche erfordert wird, wenn sie eine längere Zeit hindurch ohne Ermüdung durchs Mikroskop sehen sollen. Im gewöhnlichen Leben pflegen wir nicht die Entfernung der Objecte nach dem Accommodationszustande des Auges zu bestimmen, vielmehr diesen Accommodationszustand nach der Entfernung der Objecte zu bemessen. Hier ist dies auch nicht hinderlich, da meistens zwischen den aufeinanderfolgenden Gesichtseindrücken Momente des Ausruhens liegen, wo das Auge sich wiederum von seiner Anstrengung erholen kann. Anders stehen die Sachen, wenn wir das Auge eine Zeit hindurch zu anhaltender mikroskopischer Untersuchung verwenden. Wenn hier der Ungeübte, ganz unwillkürlich und unbewusst, sein Accommodationsvermögen ebenfalls wirken lässt, und Gesichtseindrücke aufzunehmen oder festzuhalten sucht von Objecten, die sich in verschiedener Entfernung befinden, so fühlt er in Folge dieser anhaltenden Thätigkeit des Auges alsbald eine Ermüdung in demselben, wodurch er genöthigt wird, das mikroskopische Sehen einige Zeit hindurch auszusetzen. Der geübte Beobachter dagegen benutzt seine Retina nur als Schirm, worauf er die Bilder der Objecte auffängt, und die übrigen Theile des Auges bleiben in voller Ruhe; was sonst durch das Accommodationsvermögen zu Stande gebracht wird, das überträgt er ganz und gar auf sein Instrument, welches dadurch nicht ermüdet wird.

Hieraus folgt auch, dass der häufige Gebrauch des Mikroskops keineswegs, wie es viele annehmen, dem Gesichtsorgane nachtheilig ist, dieses vielmehr allmälig dadurch immer geschickter wird, genaue und längere Anstrengung erfordernde Beobachtungen auszuführen. Auch wird jene Ansicht durch die Erfahrung hinlänglich widerlegt. Leeuwenhoek, der zu seinen Untersuchungen nur kleine Linsen benutzte, durch die das Auge natürlicher Weise in einem weit stärkeren Grade angestrengt wird, als durch das zusammengesetzte Mikroskop, setzte seine Untersuchungen bis über das achtzigste Jahr hinaus noch täglich fort, ohne dass seine Augen dadurch einen Schaden erlitten zu haben scheinen.

253 Damit soll nun aber nicht behauptet sein, dass mikroskopische Beobachtungen, die unter gewissen ungünstigen Umständen angestellt werden, nicht sollten schädlich sein können. Im Gegentheil, jeder mikroskopische Beobachter muss seine Augen schonen und sich vor allen solchen Einflüssen hüten, deren nachtheilige Einwirkung auf die Augen bekannt ist. Er ist vielleicht hierzu mehr genöthigt als ein anderer, weil ihm das Gesichtsorgan das einzige Mittel ist zur Gemeinschaft mit der kleinen Welt, die er sich zum Gegenstande seiner Forschungen erwählt hat. Es bedarf deshalb einiger Vorsichtsmaassregeln, um das Auge in gutem Zustande zu erhalten. Vornehmlich sind alle zu starke Gesichts-

eindrücke zu vermeiden. Anfänger mit dem Mikroskope begehen meistens alle den Fehler, dass sie die Objecte oder richtiger das Gesichtsfeld zu stark beleuchten. Dass die Sichtbarkeit der Objecte dadurch nicht gefördert wird, darauf habe ich schon mehr denn einmal aufmerksam gemacht (§. 214); zudem wird auch die Netzhaut dadurch zu stark gereizt, und der Ueberreizung folgt später eine Abstumpfung.

Wirkte ein zu starker Reiz ein, wie etwa in dem Falle, wenn zur Beleuchtung des Gesichtsfeldes directes Sonnenlicht angewendet wird, dann dauert der Gesichtseindruck als Nachbild fort, und durch das traurige Beispiel einiger Naturforscher (Fechner, Plateau), die sich mit den hierbei auftretenden Erscheinungen beschäftigten, ist es bekannt genug, wie gefährlich ein derartiger oftmals wiederholter überreizter Zustand der Retina dem Gesichtsorgane ist.

Aber nicht blos eine zu starke Beleuchtung muss beim Gebrauche 254
des Mikroskops vermieden werden, auch vor jedem zu starken Contraste von Licht und Dunkelheit hat man sich zu hüten. War das Auge einige Zeit hindurch im Dunkeln, dann ist die Pupille stark erweitert, und ein Beleuchtungsgrad, den das Auge unter gewöhnlichen Umständen sehr gut zu ertragen vermag, wirkt dann schädlich, weil ein breiteres Lichtbündel durch die Pupille eindringt. In dieser Lage befindet sich jener, der eine Argand'sche Lampe benutzt und das von oben und seitlich herkommende Licht mittelst eines Schirmes abhält. Man will dadurch das Licht mehr auf die Tafel concentriren, an der man arbeitet; man erreicht dies aber nur unvollkommen durch die weisse Farbe, womit die innere Fläche eines solchen Schirmes in der Regel angestrichen ist. Der eigentliche Grund, warum der von einer solchen Lampe unmittelbar bestrahlte Raum scheinbar besser beleuchtet ist, liegt in dem Contraste mit dem übrigen Zimmer, worin man sich befindet: das Auge aber, welches bald dem dunkleren Zimmer, bald wieder der hellen Tafel oder dem beleuchteten Gesichtsfelde des Mikroskops zugekehrt ist, muss die schädlichen Folgen der immer wiederkehrenden abwechselnden Expansionen und Contractionen der Pupille empfinden. Bei jeder künstlichen Beleuchtung stelle man sich das Ziel, die natürliche Beleuchtung möglichst nachzuahmen; wie die Sonne ihre Strahlen gleichmässig nach allen Richtungen entsendet, so soll es auch mit unserem künstlichen Lichte geschehen. Deshalb ist aber auch der Gebrauch aller Lampen, die nur in einer bestimmten Richtung ihr Licht ausstrahlen und die von manchen Optikern ihren Mikroskopen ausdrücklich beigefügt werden, unbedingt zu verwerfen.

Eine ähnliche, ja vielleicht selbst noch schädlichere Wirkung übt das Tageslicht, welches durch eine enge Oeffnung in ein sonst dunkel gehaltenes Zimmer eingelassen wird. Früher benutzte man allgemein Mikroskope, denen wegen des mangelnden Aplanatismus nur eine kleine Oeffnung gegeben werden durfte; da konnte Spallanzani's Rath, der

späterhin auch von anderen wiederholt worden ist, man solle in einem solchen ganz verdüsterten Zimmer arbeiten, nicht ganz verwerflich erscheinen. Gegenwärtig aber, wo die Mikroskope so sehr verbessert sind, dass sie, ohne an begrenzendem Vermögen zu verlieren, ein breites Lichtbündel durchtreten lassen können, gewinnt der Beobachter nichts durch das dunkel gehaltene Zimmer, und er läuft nur Gefahr, seine Augen unwiederbringlich zu verderben. Mandl (*Traité pratique du microscope.* Par. 1839. p. 55) berichtet, dass einer seiner Bekannten sich jener Beleuchtungsweise bediente, aber nach einiger Zeit heftige Schmerzen in den Augen bekam und gleichzeitig an Schwäche des Gesichts litt, wodurch er genöthigt wurde, vom ferneren Gebrauche des Mikroskops ganz abzustehen.

255 Wenn auch solche Beispiele zur Warnung dienen müssen, dass man bei mikroskopischen Untersuchungen die Augen nicht solchen Einflüssen preisgeben darf, die ihnen nachtheilig werden können, so will ich es doch nochmals wiederholen, dass die mikroskopische Beobachtung an und für sich dem Auge keinen Schaden bringt, so wenig als die Benutzung des blossen Auges zum gewöhnlichen Sehen deshalb als etwas Schädliches bezeichnet werden darf, weil es Menschen giebt, die ihr Gesicht dadurch verloren, dass sie geradezu in die Sonne sahen oder auf eine von der Sonne beschienene Schneefläche.

Nur mache man sich's zur festen Regel, eine mikroskopische Untersuchung nicht fortzusetzen, sobald man nur eine Spur von Ermüdung oder von Schmerzen im Auge fühlt. Ein Anfänger mit dem Mikroskope wird zuerst die Zeichen davon bald an sich wahrnehmen, braucht sich aber dadurch nicht abschrecken zu lassen: der Ursache dieser schnelleren Ermüdung des Auges, nämlich der unwillkürlichen Wirkung seines Accommodationsvermögens, ist schon vorhin gedacht worden. Bei jeder neuen Benutzung des Instruments wird er, falls nämlich seine Augen sich nicht in einem krankhaften Zustande befinden, die Erfahrung machen, dass er die Beobachtung immer länger ohne Anstrengung fortsetzen kann, und zuletzt wird er, wenn er die nöthige Vorsicht gebraucht, eben so wenig dadurch angestrengt werden, als wenn er seine Augen zum Schreiben, zum Lesen, zum Zeichnen u. s. w. benutzt.

256 Beim mikroskopischen Sehen wird nur Ein Auge benutzt. Man gewöhne sich aber, das andere Auge immer offen zu behalten; bei einiger Uebung thut dies dem Gesichtseindrucke, den jenes durchs Mikroskop sehende Auge erhält, durchaus keinen Eintrag, und es ist damit der Vortheil verbunden, dass das andere für gewöhnlich ganz unthätige Auge unter besonderen Umständen, nach der in §. 185 angegebenen Methode des Doppelsehens, zum Zeichnen oder zum Messen benutzt werden kann. Ueberdies hat das Zukneifen des einen Auges immer eine Spannung in den Lidern des andern Auges zur Folge, die nicht lange

ausgehalten werden kann. Rathsam ist es auch, dass man nicht ausschliessend immer das nämliche Auge zum Beobachten nimmt, sondern mit den Augen wechselt. Man läuft sonst Gefahr, dass allmälig das Zusammenwirken beider Augen beim gewöhnlichen Sehen unvollkommen von statten geht, was für die Erkennung der körperlichen Formen, d. h. für das stereoskopische Sehen, mit Nachtheilen verbunden ist.

Als das zweite wichtige somatische Erforderniss für denjenigen, der 257
sich mit mikroskopischen Untersuchungen beschäftigen will, nannte ich gute Hände. Die Instrumentenmacher haben sich freilich wohl viel Mühe gegeben, dieselben entbehrlich zu machen; sie haben allerlei Räder- und Schraubeneinrichtungen erdacht, wodurch auch die rohesten und wenigst geübten Hände in Stand gesetzt werden, den unterm Mikroskop befindlichen Objecten die feinsten Bewegungen mitzutheilen. Hat man doch sogar vorgeschlagen (Purkinje in Wagner's Wörterb., Art. Mikroskop), durch Schrauben bewegte Messerchen und Scheerchen auf den Objecttisch zu bringen, um damit feine Zergliederungen unterm Mikroskope vorzunehmen.

Will ich nun auch nicht in Abrede stellen, dass solche mechanische Hülfsmittel dem Geübten bisweilen zu statten kommen können, so ist ihr wirklicher Nutzen doch ein sehr eingeschränkter, und niemals können sie den Abgang guter zum Arbeiten brauchbarer Hände ersetzen. Selbst die beste Schraube bewegt ein Object nur in Einer Richtung, während die Finger durch zahlreiche Muskeln befähigt sind, Bewegungen in allen möglichen Richtungen auszuführen. Es müssen diese Bewegungen zwar in gleichem Maasse verkürzt und verlangsamt werden, in welchem die Vergrösserung zunimmt; dazu ist aber nichts als Uebung nöthig. Die mechanischen Mittel, die Muskeln nämlich besitzen wir, wir müssen sie aber auf passende Weise zu gebrauchen erlernen.

Zuvörderst muss man sich die Fertigkeit zu eigen machen, die Ob- 258
jecte im Gesichtsfelde des Mikroskops gleichmässig und ohne Erschütterung mittelst der Hände zu bewegen. Anfangs wird dies dem beginnenden Mikroskopiker schwer fallen, namentlich beim zusammengesetzten Mikroskope, wo alle Bewegungen umgekehrt wie die wahren sein müssen, und wenn der Objecttisch seines Mikroskops mit einem beweglichen Schlitten versehen ist, so wird er immer in Versuchung kommen, nach dessen Schrauben zu greifen. Er lasse sich aber dadurch nicht entmuthigen. Bei einiger Ausdauer werden die Finger bald die Fertigkeit erlangt haben, seinem Willen ganz nachzukommen; dabei werden sie den künstlichsten Schlittenapparat in Allseitigkeit der Bewegung übertreffen, in der Genauigkeit der Bewegung ihm aber gleichkommen.

Um sich auf eine geregelte Weise darin zu üben, ist es gut, wenn man mit den schwächsten Vergrösserungen anfängt und irgend ein Object an eine bestimmte Stelle des Gesichtsfeldes zu bringen sucht, wenn

man etwa den Rand des Objects mit dem Rande des Gesichtsfeldes in Berührung bringt, oder mit einem im Oculare ausgespannten Spinnwebfaden. Auch ist das Beobachten mancher Infusorien und Rotatorien eine sehr gute Uebung, weil es nicht leicht ist, ein solches frei im Wassertropfen schwimmendes Thierchen fortwährend im Gesichtsfelde zu behalten; auch ganz kunstreich angebrachte Schrauben reichen hierzu nicht aus, während es die Finger, auch bei ansehnlicher Vergrösserung, noch auszuführen im Stande sind.

259 Zweitens müssen Hände und Finger dazu dienen, Präparate anzufertigen oder Zergliederungen auf dem Objecttische des Mikroskops auszuführen. Beim zusammengesetzten Mikroskope liegt in der Umkehrung des Bildes ein schwer zu überwindendes Hinderniss. Auch bezweifele ich, dass jemals einer damit eben so gut arbeiten lernt, als wenn die Bilder der Objecte sich in der naturgemässen Richtung befinden. Glücklicher Weise ist dies auch nicht so nöthig. Zu den feinsten Zergliederungen reicht eine Vergrösserung aus, die höchstens eine 50- bis 60fache ist; wollte man noch stärkere Vergrösserungen anwenden, so würden dazu brauchbare Zergliederungsinstrumente abgehen. Bei der angegebenen Vergrösserung bleibt aber eine einfache Linse oder ein Doublet noch in gehöriger Entferung vom Objecte, um dasselbe mit feinen Nadeln und Messern behandeln zu können. Ausserdem besitzen wir auch an dem bildumkehrenden Mikroskope ein für solche Zergliederungen ganz ausreichendes Instrument.

Arbeitet man unter dem Mikroskope oder unter der Lupe, so kommt es hauptsächlich auf eine feste Hand an, d. h. darauf, dass keine unwillkürlichen Muskelerzitterungen in der Hand stattfinden. Dies verlangt mehr Uebung und ist weit schwerer, als die soeben erwähnte Bewegung der Objecte auf dem Objecttische; davon kann sich jeder überzeugen, wenn er den Versuch macht, die Spitze einer Nadel ganz still und unbeweglich im Brennpunkte eines Mikroskops zu halten. Man wird sehen, dass die Nadelspitze sich in einer fortwährenden zitternden Bewegung befindet, die ihr von der Hand mitgetheilt wird. Es scheint diese zitternde Bewegung untrennbar mit jeder Muskelcontraction verbunden zu sein, ihre vollständige Beseitigung demnach zu den Unmöglichkeiten zu gehören; indessen lässt sie sich vermindern und dadurch beinahe unschädlich machen.

Zuvörderst nimmt sie durch jede ungewöhnliche Kraftanstrengung zu: durch Heben einer schweren Last, durch die schnellen Bewegungen der Arme und Hände beim Sägen, Feilen u. s. w. werden diese Organe oftmals noch viele Stunden hindurch zu jeder ferneren Arbeit ganz unbrauchbar. Wer daher unterm Mikroskope eine Zergliederung vornehmen will, der darf nur dann daran gehen, wenn seine Arm- und Handmuskeln sich von einer früheren, grössere Kraftanstrengung erfordernden Thätigkeit vollkommen erholt haben. Man wird sogar finden, dass feine

Präparate am besten gerathen, wenn man sie am Morgen, kurze Zeit nach dem Erwachen, anfertigt, weil während des Schlafs das Gleichgewicht sich wiederum hergestellt hat, welches durch die während des Tags vorgenommenen Beschäftigungen, auch wenn dieselben keine besondere Kraftanstrengung erfordern, allmälig in einem mehr oder weniger hohen Grade verloren geht.

Sodann kann jeder an sich selbst erproben, dass die durch jenes unwillkürliche Muskelzittern erzeugten Bewegungen um so ausgedehnter sind, je entfernter der bewegte Theil von einem festen Stützpunkte gelegen ist. Versucht man im Stehen, ohne dass die Arme oder Hände irgendwo gestützt sind, eine Nadelspitze in den Brennpunkt des Mikroskops zu halten, so wird man wahrnehmen, dass die Nadelspitze starke Bewegungen macht. Diese werden sich alsbald vermindern, sobald man in die sitzende Stellung übergeht, oder wohl gar den Ellenbogen und Vorderarm aufstützt, und auf ein Minimum werden sie reducirt, wenn auch die Hand auf einer festen Unterlage ruht. Die Sache erklärt sich einfach. Das Muskelzittern pflanzt sich von einem Theile des Körpers auf den anderen fort, beim Stehen demnach von den Beinen auf den Rumpf, von da auf die Arme, auf die Hände und endlich auf die Fingerspitzen; an diesen letzten muss mithin die Bewegung am ausgiebigsten sich darstellen, weil sie das Resultat der Muskelerzitterungen des ganzen Körpers ist. Bricht man nun die Bewegung an irgend einem Punkte dieser Bahn, so pflanzt sie sich nur von diesem Punkte aus weiter fort, und somit ist es klar, dass die Fingerspitzen dem Zustande vollkommener Ruhe um so näher kommen werden, je näher sie sich dem Stützpunkte befinden, welcher die Fortpflanzung der Muskelerzitterungen hindert. Deshalb muss man es sich zur Regel machen, nicht nur alle feineren mechanischen Trennungen im Sitzen vorzunehmen, sondern dabei auch die Arme und Hände durch passend angebrachte Unterlagen zu unterstützen. Manchmal kann es sogar gut sein, wenn man noch unter das letzte Glied des Mittelfingers, der mit dem Daumen und dem Zeigefinger zum Festhalten und Leiten des zur Trennung benutzten Instruments dient, eine kleine Rolle bringt, welche das Glied unterstützt, ohne doch dessen Bewegungen hinderlich zu sein.

Es versteht sich aber von selbst, dass ein Anfänger, wenn er diesen Vor- 260
schriften auch getreulich nachkommt, doch noch nicht sogleich im Stande sein wird, sehr mühsame Zergliederungen, etwa von sehr kleinen Insecten, unter dem Mikroskope auszuführen. Es muss Uebung hinzukommen, und diese erwirbt man sich am besten, wenn man allmälig vom Leichteren zum Schwereren fortschreitet. Er beginne daher mit der Anfertigung solcher Präparate, zu denen die Beihülfe des Mikroskops noch nicht erforderlich ist, indem er etwa dünne Schnitte von ziemlich harten Körpern macht, von Knorpeln, Hörnern, Nägeln, den meisten Pflanzengeweben u.s.w. Dann geht er zu Präparaten über, zu deren Darstellung die Benutzung

einer nur wenig vergrössernden Lupe in der Regel ausreicht. Die Anatomie der Insecten, der Mollusken und anderer kleiner Thiere bietet hier der Uebung ein reiches Feld, indem er zu immer kleineren Objecten fortschreitet und zugleich bei stets zunehmenden Vergrösserungen arbeitet, wo dann nach einiger Zeit ein Floh, eine Milbe, ja selbst eins von den grösseren Infusorien unter dem Mikroskope fast mit gleicher Leichtigkeit zerlegt wird, wie die Section eines vierfüssigen Thieres oder eines Vogels mit unbewaffnetem Auge vor sich geht.

261 Nachdem wir die wichtigsten somatischen Eigenschaften betrachtet haben, welche derjenige, der sich mit mikroskopischen Untersuchungen beschäftigen will, besitzen oder doch zu erwerben suchen muss, kommt nun die Beantwortung der Frage nach den psychischen Eigenthümlichkeiten, die ihn auszeichnen sollen, an die Reihe.

Manche dürften vielleicht der Ansicht sein, als ob die Betrachtung dieser letzteren nicht hierher gehörte, weil alle Vermögen und Eigenschaften der Seele, welche von einem Mikroskopiker gefordert werden, auch keinem andern Naturforscher fehlen dürfen, so dass dann schliesslich die Beantwortung der vorstehenden Frage mit der Antwort auf die mehr allgemeine Frage zusammenfallen würde: welche psychischen Eigenthümlichkeiten werden von jenem erwartet, der die Erforschung der Natur und ihrer Erscheinungen sich zum Ziele gesetzt hat? Diese letztere Frage begreift zwar die erstere in sich, das Umgekehrte findet jedoch nicht statt. Schon die Wahrnehmung, dass der eine sich mehr zu diesem, der andere mehr zu jenem Theile der Naturforschung hingezogen fühlt, ist Beweis dafür, dass in der verschiedenartigen Gemüthsund Geistesrichtung die Bedingungen zu diesen verschiedenen Neigungen enthalten sind. Auch darf die besondere Natur der Objecte, mit deren Untersuchung man sich beschäftigt, nicht aus dem Auge verloren werden, da dieselben bald die Einwirkung einer bestimmten geistigen Thätigkeit, bald wieder einer anderen beanspruchen, und da in der Eigenthümlichkeit jeder Untersuchung immer besondere Veranlassungen zu Irrthum enthalten sind, den zwar kein Naturforscher immer und zu allen Zeiten entfernt zu halten hoffen darf, den aber möglichst zu verhüten stets seine höchste Pflicht ist.

Aus diesen Gründen erachte ich die folgende kurze Angabe über die psychische Beschaffenheit eines mikroskopischen Beobachters hier nicht für unpassend, um so mehr, da dieses Buch ganz besonders für solche bestimmt ist, die erst anfangen, sich auf die Naturwissenschaften zu verlegen, und alle die Klippen noch nicht kennen, an denen sie Schiffbruch erleiden können. Lerne dich selbst kennen, muss einem jeden zugerufen werden, der sich einen besonderen Zweig des Wissens erwählt und den ersten Schritt auf dem neuen Wege thut; denn wer sich selbst und die Wissenschaft kennt, der wird unschwer an den Klippen vorbeisegeln.

Wahrheit, reine unverfälschte Wahrheit ist die Wissenschaft. Die 262
erste und wichtigste Forderung an jeden Naturforscher, also auch an den Mikroskopiker, ist die unwandelbare Wahrheitsliebe.

Die Wahrheit dieser Sätze wird von allen anerkannt, und dennoch lehrt die tägliche Erfahrung, dass immer dagegen gesündigt wird. Ich rede hier nicht von jenen, die absichtlich betrügen; ihre Anzahl ist gewiss klein, und es kann auch nicht mein Ziel sein, sittliche Besserung zu bewirken; sie mögen die Unwahrheiten, die sie anderen mit Wissen und Willen, aus welchen Gründen es auch geschehen mag, als Wahrheiten auftischen, vor ihrem eigenen Gewissen verantworten. Ich habe es nur mit der grösseren Zahl jener zu thun, die, wenn sie auch die Wahrheit zu lieben vermeinen, in Irrthümer verfallen, die sie hätten vermeiden können. Diese Irrthümer sind unwillkürliche und darum leichter zu verzeihen; sie sind aber der Wissenschaft nicht weniger schädlich, als vorbedachte Lügen, ja manchmal noch mehr als diese, wenn aus dem Tone, in welchem die Mittheilung gemacht wird, zu ersehen ist, dass der Beobachter wirklich in gutem Glauben ist. Die Wahrheitsliebe geht noch etwas weiter; sie umfasst auch das ernstliche Streben, jedem Versuche zum Irrthume zuvorzukommen. Dieselbe verlangt auch, namentlich bei den auf Induction beruhenden Naturwissenschaften, eine strenge Kritik: das Zuverlässigere muss vom Unsicheren, das Wahre vom Wahrscheinlichen, das Wahrscheinliche vom blos Möglichen unterschieden werden. Dies wird oftmals nicht genugsam im Auge behalten von jenen, die ihre Untersuchungen dem Publikum vorlegen. Es sollen z. B. zwei Beobachter sich mit der Entwickelungsgeschichte eines und desselben Gewebes, Organes oder Thieres beschäftigen; beide können nun vielleicht vollkommen die nämlichen Thatsachen beobachten, und es können dennoch ihre Ansichten über die Art und Weise, wie die Entwickelung erfolgt, ganz von einander abweichen, weil der eine die beobachteten Thatsachen auf diese Weise, der andere auf jene Weise an einander reiht. Wem unsere heutige Physiologie nicht unbekannt ist, der wird sich leicht mehrere Beispiele dieser Art vergegenwärtigen können; ich erinnere nur an die auseinander gehenden Ansichten, welche über Bildung und Entwickelung der thierischen und pflanzlichen Zelle aufgestellt worden sind. Diese Discrepanz darf aber nicht in Verwunderung setzen; noch niemand hat die Bildung einer Zelle wirklich gesehen, oder das Entstehen eines Gewebes dadurch, dass Zellen in Röhren, in Fasern u. s. w. sich umwandeln. Wir sehen nur das bereits Bestehende, und darüber kann man in vielen, ja in den meisten Fällen zu jener empirischen Gewissheit kommen, die in den Naturwissenschaften gleichbedeutend ist mit der Wahrheit. Sobald wir uns indessen weiter wagen, sobald wir aus dem vorliegenden Verhalten auf vorausgegangene oder auf nachfolgende Zustände Schlüsse ziehen, dann gehen die positiven Resultate directer Beobachtung und die Schlüsse unserer subjectiven Auffassung in einander über; wir stehen dann auf

dem Boden der Hypothese, die sich in diesem Falle, unerachtet aller Wahrscheinlichkeit, nicht anders als durch thatsächliche Wahrnehmung zur Wahrheit erheben kann.

Das Nämliche gilt auch von dem vielfach sich geltend machenden Bestreben, aus einer im Verhältniss zu der grossen Menge von Naturgegenständen immer nur kleinen Anzahl beobachteter Thatsachen zu folgern, dasjenige, was in dem einen Falle beobachtet wird, müsse auch in einem anderen ähnlichen Falle stattfinden. Wir können allerdings die Schlüsse aus Analogie nicht entbehren und sie sind selbst ein sehr wichtiges Mittel zur Vervollkommnung der Wissenschaft, da sie uns den Weg anzeigen, der weiterhin eingeschlagen werden muss. Man soll aber nie vergessen, dass sie nur auf einen höheren oder geringeren Grad von Wahrscheinlichkeit Anspruch machen können, dass es mit dem Lichte, welches einer gut beobachteten Thatsache entströmt, oftmals eben so geht, wie mit dem eigentlichen Lichte, dessen Stärke im quadratischen Verhältniss der Entfernung von der Lichtquelle abnimmt.

Von keiner Classe der Naturforscher ist wohl mehr gegen diesen Satz gefehlt worden, als von den Mikroskopikern. Vielleicht gerade die Kleinheit ihrer Untersuchungsobjecte und das unübersehbare Feld, das sie noch vor sich haben, daneben dann die jedem Naturforscher einwohnende Neigung, Zusammenhang und Einheit in den Erscheinungen aufzufinden, mag sie vorzugsweise vor anderen dieser Gefahr aussetzen. Man erinnere sich z. B. der vielen Irrthümer, welche sich in die Wissenschaft einschlichen und zum Theil noch bestehen durch die übertriebene Sucht, Uebereinstimmung in der Bildung der Thiere und Pflanzen herauszufinden. Niemand wird es verkennen, dass dieses Suchen nach Analogien seine sehr nützliche Seite hat. Nur eile man der Wissenschaft nicht voraus und suche schon ein Dach auf das Gebäude zu bringen, dessen Grundlagen noch erst gelegt werden müssen.

Man trifft Beobachter, denen eine Eiche oder ein anderer zufällig in der Nähe ihrer Wohnung stehender Baum der Repräsentant aller Dicotyledonen ist, oder die ein paar Beobachtungen, welche sie an dieser oder jener Palmsorte angestellt haben, auf alle Monocotyledonen übertragen, oder die daraus, dass dieses oder jenes Organ beim Kaninchen oder beim Hunde eine bestimmte Zusammensetzung hat, auf eine vollkommen gleiche Zusammensetzung bei allen Säugethieren schliessen. In vielen Fällen mögen solche auf die natürlichen Verwandtschaften sich stützende Sätze wirklich begründet sein und durch spätere ausdrücklich darauf gerichtete Untersuchungen ihre Bestätigung erhalten; bevor jedoch das geschehen ist, können sie nicht zu den Wahrheiten gezählt werden, denn aus der Geschichte der Wissenschaft liessen sich wohl viele Beispiele sammeln, aus denen zu entnehmen ist, wie übereilt solche allgemeine Folgerungen sein können.

Wahrheitsliebe setzt also eine strenge Kritik voraus, nicht blos gegenüber den Beobachtungen anderer, wozu man in der Regel mehr

denn zu geneigt ist, sondern vorzüglich auch gegenüber den eigenen Beobachtungen; dazu müssen aber genaue Grenzen gezogen werden, wo das Gebiet des Wahren aufhört und in jenes des Wahrscheinlichen übergeht, welches letztere allmälig mit jenem des Möglichen zusammenfliesst.

Zur Uebung dieser Kritik bedarf es aber nicht blos des einfachen 263
Wollens; wir müssen uns auch in einem Gemüthszustande befinden, der es uns möglich macht, mit nebelfreiem Blicke zu sehen und mit vorurtheilslosem Verstande zu schliessen. Als Hauptererforderniss hierzu nenne ich die Gemüthsruhe während der Untersuchung. Wie leicht es auch scheinen mag, dass dieser Forderung Genüge geschehe, es lehrt die Erfahrung dennoch, dass das Gegentheil sich Geltung verschafft. Dies hat vorzüglich bei mikroskopischen Untersuchungen seine Richtigkeit; diese veranlassen nicht selten lebhafte Gemüthseindrücke, welche mit der gewünschten Gemüthsruhe während der Beobachtung unvereinbar sind.

Ich denke hierbei nicht an jene, die das Mikroskop als eine Art Kaleidoskop benutzen und nur des Vergnügens halber anwenden, und die sich über die schönen Farben, über das Nette und Kleine an den Objecten, die sie dadurch sehen oder zu sehen glauben, kindisch freuen. Jeder übrigens, der in den Besitz eines Mikroskops kommt und dasselbe zu ernsthaften Untersuchungen zu verwenden beabsichtigt, muss diese Periode der naiven Verwunderung über alles Neue, was er dadurch sieht, durchmachen; er bringt jetzt eine Mücke oder Fliege, dann wieder ein Stückchen Spitze oder Gaze oder einen glänzend gefärbten Schmetterlingsflügel, ferner wohl auch ein paar Käsemilben unter sein Mikroskop, und fordert auf, mit ihm zu schauen und sein Entzücken zu theilen. Das ist nicht zu verwundern; denn nicht mit Unrecht hat man gesagt, dass man in eine neue Welt eintritt, wenn man das Auge mit dem Mikroskope waffnet. Auch will ich jene Verwunderung über alles das Neue, das Entzücken über alles sich darstellende Schöne durchaus nicht tadeln. Nur vergesse man nicht, dass das Mikroskop doch kein Spielzeug ist, wenigstens kein solches sein soll in den Händen jener, die es zu etwas Besserem anwenden können, nämlich zur Förderung der Wissenschaft. Von dem Augenblicke an, wo das mikroskopische Sehen sich zur mikroskopischen Beobachtung gestaltet, handelt es sich nicht mehr darum, an einem Objecte dessen Schönheit, Zierlichkeit oder Kleinheit aufzufassen, sondern nur darum, wie dieses Object gestaltet ist und was es sonst für wahrnehmbare Eigenschaften besitzt. Mit Ruhe forsche man diesen nach, und man hüte sich selbst vor einem zu grossen Enthusiasmus, wenn der Gegenstand der Untersuchung dazu auffordern sollte. Mancher ist schon dadurch in Irrthum geführt worden, dass er, von teleologischen Begriffen ausgehend, der Natur überall bestimmte Zwecke unterlegte, die nach seiner Ansicht mit ihrer Weisheit harmonirten, und dass er diese Weisheit auch in den kleinsten Producten

wiederfinden wollte; mit begeisterter Bewunderung sah er durchs Mikroskop, weil er wirklich das zu sehen glaubte, was zur Befestigung seiner vorgefassten Meinung diente, und was er nicht gesehen haben würde, hätte er der Weisheit der Natur weniger Bewunderung gezollt, dafür aber der Wahrheit mehr gehuldigt.

In der That muss man zugeben, dass es viele mikroskopische Untersuchungen giebt, bei denen der Beobachter grosse Gefahr läuft, alles zu sehen, was er mit lebhaftem Sinne zu sehen wünscht, sei es um einer früheren Meinung zu Hülfe zu kommen, sei es, dass ihn der Ehrgeiz stachelt, etwas Neues zu entdecken, damit sein Name aus einem Journal ins andere aufgenommen wird und zuletzt im Jahresberichte steht. Solche Männer verkennen ihren Beruf und die Bestimmung des Instruments; nicht zur Erforschung der Natur machen sie davon Gebrauch, sondern sie wollen die Natur für ihre besonderen Zwecke ausbeuten.

264 Um zur Wahrheit zu gelangen, wird aber noch mehr gefordert als ein offenes Auge und ein vorurtheilsloser Verstand; sonst würde ein Kind der beste Beobachter sein. Das Wahrgenommene muss gedeutet werden, und dazu sind mancherlei Thätigkeiten des Geistes erforderlich, die zum Theil von angeborenen Eigenschaften abhängen, zum Theil aber auch durch Uebung angelernt werden müssen.

So muss sich z. B. der mikroskopische Beobachter durch Geduld und Ausdauer auszeichnen. Eine flüchtige Untersuchung ist überall eine schlechte Untersuchung, besonders aber hier. Es giebt Fälle, wo man beim Erforschen der Naturerscheinungen und der Gesetze, denen die Natur folgt, ziemlich sicheren Schrittes einhergehen darf, wo man mit Sicherheit voraussehen kann, dass man, wenn die Arbeit auf eine im Voraus bestimmte Weise fortgeführt wird, endlich zu bestimmten Resultaten kommen wird. In anderen Fällen kann man mit eben so grosser Wahrscheinlichkeit voraussehen, dass man genöthigt sein wird, viel Mühe um Nichts aufzuwenden, dass man die Arbeit manchmal aufs Neue nach einem anderen Plane wird anfangen müssen, bis endlich das Glück unsere Bestrebungen begünstigt und unsere Ausdauer belohnt. Zu den letzteren gehören die meisten mikroskopischen Untersuchungen. Es kann wohl geschehen und selbst dem Geübtesten kann es begegnen, dass er von einem Gewebe zwanzig oder noch mehr Präparate anfertigen muss, bevor es gelingt, ein solches zu erhalten, woran mit voller Ueberzeugung dasjenige gesehen werden kann, was an den übrigen gar nicht oder nur unbestimmt wahrnehmbar ist.

Die mikroskopische Beobachtung hat es überdies nur mit Gesichtseindrücken zu thun; der Unterstützung der übrigen Sinnesorgane, namentlich des Gefühls, welches bei der Beobachtung mit blossem Auge ein so wichtiges Hülfsmittel ist, entbehren wir dabei gänzlich. Diesen Mangel zu ersetzen, sind wir genöthigt, die Gesichtseindrücke möglichst zu vervielfältigen. Das nämliche Object müssen wir bald in dieser, bald in

jener Richtung dem Auge vorzuführen suchen; wir müssen es bei auffallendem und dann wieder bei durchfallendem Lichte betrachten und dabei noch die verschiedenen Modificationen in Anwendung bringen, die der Beleuchtungsapparat und die Kenntniss der Gesetze über den Gang des Lichtes zulässt; wir müssen das Object unter den verschiedenartigsten Umständen beobachten und dasselbe solchen Einflüssen aussetzen, von denen mit einigem Grunde zu erwarten steht, dass sie eine Wirkung hervorrufen, die vielleicht ein neues Licht verbreiten kann; und indem wir zuletzt die verschiedenen Gesichtseindrücke zu einem Ganzen vereinigen, worin alle Theile unter einander in gehöriger Uebereinstimmung sind, einander aufklären und aufhellen, verschaffen wir uns daraus eine allgemeine Vorstellung über die Gestalt und Natur des Objects, von der wir annehmen dürfen, dass sie, wenn auch nicht durchaus, doch wenigstens zum grossen Theile Wahrheit enthält.

Um zu dieser Vorstellung zu gelangen, muss in hohem Grade ein 265
Vermögen wirksam sein, welches leicht zum Irrthum führt, wenn es nicht gehörig beherrscht wird und in unbeschränkter Freiheit thätig ist, die Phantasie nämlich.

Von sehr vielen Dingen können wir unterm Mikroskope nur einen kleinen Theil auf einmal übersehen: man muss sie in viele kleinere Theile trennen, weil sie zu gross oder nicht durchsichtig genug sind, oder jeder einzelne Theil nimmt wieder zu viel Raum ein im Verhältniss zur Grösse des Gesichtsfeldes. Sodann sehen wir durchs Mikroskop keine Körper, sondern nur Flächen deutlich, und es muss die körperliche Form aus jener der wahrgenommenen Flächen construirt werden. Diese Aufgabe hat die Phantasie zu erfüllen. Sie reihet die einzelnen empfangenen Eindrücke später an einander, sie füllt aber auch (und das ist das Gefährliche) die Lücken zwischen diesen Eindrücken aus. Im Gesichtsfelde des Mikroskops erscheinen z. B. viele dünne, dicht neben einander verlaufende **Streifen**; das können nun möglicher Weise sein:

a) Wahre Streifen an einer platten Oberfläche, die aber wieder die doppelte Bedeutung haben können von
 α. Vertiefungen, z. B. die Theilungen eines Glasmikrometers,
 β. Verdickungen, z. B. die Rippchen auf Insectenschuppen;
b) Grenzlinien solider Fasern oder Fäden, etwa Muskel- oder Sehnenfasern;
c) Grenzlinien von Röhrchen oder Canälchen, wohin die Faserzellen in vegetabilischen Geweben, die Zahn- und Knochencanälchen gehören;
d) Grenzlinien aneinanderstossender Lamellen, wie sie in der Krystalllinse, oder an den Fischschuppen, oder an den Schalen der Weichthiere vorkommen.

Wird aber etwa ein **kleiner Ring** im Gesichtsfelde des Mikroskops wahrgenommen, so kann derselbe möglicher Weise sein:

a) eine kleine Scheibe, z. B. ein Blutkörperchen;
b) ein Kügelchen oder Tröpfchen, z. B. ein Milchkügelchen;
c) ein Bläschen, wie viele thierische und pflanzliche Zellen;
d) der Durchschnitt eines kegelförmigen oder cylindrischen Körpers, wie er bei vielen organischen Fasern und verlängerten Zellen vorkommen kann;
e) eine napfförmige Aushöhlung, wie die Hoftüpfel der Holzzellen von Coniferen, Cycadeen etc.;
f) eine wahre Oeffnung, wie sie in der Wandung vieler Pflanzenzellen und Gefässe vorkommen;
g) eine dünne Stelle an einer Membran, wie oftmals die getüpfelten Stellen in den Wandungen verholzter Pflanzenzellen;
h) eine locale Verdickung einer Membran, z. B. die Pünktchen an der Oberfläche der Haare vieler Pflanzen.

266 Aus diesen Beispielen, welche noch mit vielen anderen vermehrt werden könnten, ergiebt sich, dass bei oberflächlicher und flüchtiger Betrachtung die Phantasie grossen Spielraum hat, das Gesehene nach Willkür zu deuten. Dies zu verhüten, muss jede Untersuchung nach einem bestimmten Plane ausgeführt werden, so dass man nicht blos mit den Augen wahrnimmt, sondern sich auch bestimmte Rechenschaft geben kann von demjenigen, was man sieht. Folgende Regeln können dabei als Richtschnur dienen.

1) Zunächst kommt es auf eine zweckmässig gewählte Vergrösserung an. Manche greifen am liebsten sogleich nach den stärkeren Vergrösserungen, in der Meinung, sie würden um so mehr von einem Objecte wahrnehmen, in je stärkerer Vergrösserung sie dasselbe sehen. Nähme das optische Vermögen des Mikroskops gleichmässig mit der Vergrösserung zu, dann würde dies auch in vielen Fällen wahr sein. Ich habe aber schon wiederholt das Irrige dieser Ansicht besprochen. Man gewinnt durch eine stärkere Vergrösserung weit weniger, als man bei flüchtiger Betrachtung glauben sollte, und für die meisten Beobachtungen leisten schwache und mittlere Vergrösserungen bei weitem die meisten Dienste. Wenn aber auch späterhin stärkere Vergrösserungen in Anwendung kommen müssen, so versäume man es gleichwohl nicht, zuerst schwächere zu nehmen, weil bei diesen das Gesichtsfeld ein grösseres ist. Man gewinnt dadurch zuerst eine allgemeine Uebersicht über das Ganze, und der Phantasie wird das immer etwas gefährliche Geschäft erspart, sich dieses Ganze aus den nach einander wahrgenommenen Einzelnheiten zu construiren.

Wenn bei einer 500maligen Vergrösserung der Durchmesser des Gesichtsfeldes $^1/_3{}^{mm}$ beträgt und bei dieser Vergrösserung ein Object betrachtet wird, welches 5^{mm} Breite und Länge hat, dann kann nicht mehr als $^1/_{225}$ dieses Objects auf Einmal übersehen werden. Soll es ganz überblickt werden, so muss 225 Male immer wieder ein neuer Abschnitt des-

selben ins Gesichtsfeld gebracht werden, und auch die lebendigste Phantasie ist nicht im Stande, diese 225 einzelnen Eindrücke späterhin wieder zu vereinigen, wenn sie nicht durch einen vorausgegangenen allgemeinen Ueberblick unterstützt wird.

2) Dem Objecte, welches mikroskopisch betrachtet werden soll, verschaffe man, so weit seine Beschaffenheit es zulässt, eine ebene Oberfläche; je ebener die Oberfläche ist, ein um so grösserer Theil derselben lässt sich auf Einmal scharf übersehen. Die hierzu dienenden Mittel sollen späterhin zur Sprache kommen.

3) Man beschaue den nämlichen Gegenstand in verschiedenen Richtungen. Wenn kleine Objecte in einer Flüssigkeit sich bewegen, so erzeugt man in der letzteren eine Strömung, wodurch die verschiedenen Seiten des Objects nach einander in das Gesichtsfeld kommen.

Nur auf diese Weise ist es z. B. möglich, eine kleine runde Scheibe von einem Kügelchen oder Bläschen zu unterscheiden, darüber ins Reine zu kommen, ob ein kleineres Körperchen sich innerhalb des grösseren oder nur an dessen Oberfläche befindet, die Formen kleiner Krystalle zu erkennen u. s. w.

Bei grösseren Objecten, oder wenn die Theile mitten in einem festen Gewebe befindlich sind oder dasselbe zusammensetzen, muss man dünne Schnitte anfertigen, wobei auf drei Hauptrichtungen Rücksicht genommen werden kann. Doch versteht es sich von selbst, dass Schnitte in anderer mehr schiefer Richtung nicht brauchen ausgeschlossen zu sein; auch haben die Körper nicht immer eine so regelmässige Form, dass man sich streng an die drei Richtungen halten könnte, nämlich:

a) die quere, senkrecht auf die gedachte Axe des Objects, wodurch man Querdurchschnitte bekommt;
b) die längslaufende, so weit möglich durch die Mitte des Objects, wodurch man radiale oder Axendurchschnitte erhält;
c) parallel einer Tangente der Oberfläche, was Tangentialdurchschnitte oder Chordendurchschnitte giebt.

Verfährt man auf solche Weise methodisch und kommen immer die nämlichen Theile, nur in verschiedenen Richtungen getrennt, zur Ansicht, so muss man wohl allmälig zu einer sicheren Vorstellung gelangen, es müssten denn die beobachteten Theile so klein sein, dass ihre Sichtbarkeit den Grenzen des optischen Vermögens des Mikroskops nahe läge, was allerdings manchmal vorkommt, wenn es sich z. B. um die Unterscheidung ganz dünner Röhrchen von Fasern, sehr kleiner Körnchen oder Kügelchen von Bläschen u. s. w. handelt.

4) Wenn die Beschaffenheit des Objects es zulässt, so sucht man die Theile, nachdem man dieselben im Zusammenhange betrachtet hat, so viel möglich zu isoliren, weil das Auf- und Durcheinanderliegen der Theile vielfach ihre genaue Wahrnehmung und ihre Deutung erschwert.

5) Man muss für passende Beleuchtung sorgen und damit auf mehr-

fache Weise abwechseln, worüber §. 200 u. flgde. das Nöthige angegeben worden ist.

6) Man mache es sich zur Regel, alle organischen Körper, so weit es möglich ist, im frischen Zustande zu untersuchen, und zwar möglichst unter den gleichen Umständen, worin sie sich im lebenden Körper befanden. Aus der Untersuchung von Körpern z. B., die in Weingeist aufbewahrt sind, darf man nur dann auf deren Zustand während des Lebens schliessen, wenn man durch frühere Untersuchungen darüber belehrt ist, dass die untersuchten Gewebe durch den Weingeist keine Veränderung erleiden. Selbst das Wasser, womit man die Objecte meistens zu tränken pflegt, ist keineswegs immer als ein ganz unschuldiger Zusatz zu betrachten. Blutkörperchen werden in ein paar Augenblicken ganz darin verändert. Wenn also einem organischen Körper Flüssigkeit zugefügt werden muss, so wählt man immer am besten eine solche, welche jener möglichst nahe kommt, womit das Object während des Lebens in Berührung ist. Bei animalischen Theilen kann man verdünntes Eiweiss oder Blutserum nehmen, bei vegetabilischen eine schwache Zucker- oder Gummisolution.

7) Hat man einen Körper erst im frischen unveränderten Zustande kennen gelernt, so bieten sich dann noch in der Compression und in anderen physikalischen und chemischen Einwirkungen grosse Hülfsmittel dar, um noch bestehende Zweifel zu lösen, oder um Einzelnheiten zur Ansicht zu bringen, die früher gar nicht oder nur unvollständig gesehen wurden.

Im Ganzen suche der Beobachter seine Untersuchung stets so einzurichten, dass seine Phantasie nur die Rolle des Combinationsvermögens einnimmt. So lange noch die Wahl zwischen zwei Möglichkeiten besteht, schärfe er seinen Verstand, neue Mittel ausfindig zu machen, die zu überzeugender Klarheit führen können, und wenn gleichwohl noch Zweifel übrig bleiben, so lasse er diese bei sich selbst und bei anderen bestehen. Nur falsche Scham oder etwas Schlimmeres können ihn davon abhalten. Denn wer eifrig nach der Wahrheit strebt, und wer es ehrlich mit der Wissenschaft meint, der wird es sich nicht zur Schande rechnen, wenn er zuletzt bekennen muss, statt unumstösslicher Wahrheit habe er nur Wahrscheinlichkeit gefunden. Der erste Schritt zum Wissen besteht darin, dass wir erkennen, noch nichts zu wissen.

267 Es gab eine Zeit, wo jede mikroskopische Beobachtung mit Misstrauen aufgenommen wurde. Auch fehlte es in der That nicht an Gründen für ein solches Misstrauen. Erinnern wir uns z. B. aus der Geschichte der Blutkörperchen, dass man sie beschrieben hat: als runde ölige Kügelchen; als Kügelchen, die wieder aus kleineren Kügelchen bestehen sollten; als runde Bläschen; als Ringe; als platte, schwach concave, solide Scheibchen; als hohle Scheiben mit einem Kerne im Inneren; als Bläschen, die ein Fäserchen enthalten; — und überdies ist auch der Farb-

stoff derselben bald in die Hülle, bald in den Kern, bald wieder zwischen Hülle und Kern verlegt worden. Wenn man nun so verschiedene Resultate erhielt über die Beschaffenheit von Körperchen, die bei allen Thieren derselben Art einander fast ganz gleich sind, und die selbst bei verschiedenartigen Thieren grossentheils noch einen übereinstimmenden Bau besitzen, so war es wohl verzeihlich, wenn der wissenschaftliche Werth der mikroskopischen Leistungen mehr und mehr in Zweifel gezogen wurde, bis es endlich fast Mode wurde, mit einer gewissen Missachtung auf jene herabzusehen, die jenes trügerische Instrument noch fernerhin zu benutzen fortfuhren.

Jetzt ist es freilich anders. Man hat einsehen gelernt, dass die sogenannten mikroskopischen Irrthümer keine solchen sind, die mit dem Instrumente selbst im Zusammenhange stehen, sondern dass sie dem Beobachter zur Last fallen müssen, der das Beobachtete verkehrt deutete. Solche Irrthümer hat aber die mikroskopische Untersuchung mit jeder anderen gemein, die sich auf sinnliche Beobachtung stützt. Wir sind und bleiben gebrechliche Menschen, deren Sinnesorgane den Eindruck aufnehmen, ohne über dessen Realität zu entscheiden, ob er nämlich von einem wirklichen Objecte oder von einer Fata morgana herrührt, ja selbst wohl von reinen Phantasien, wenn nämlich die den Eindruck fortleitenden Nerven durch psychische oder durch innere somatische Ursachen sich in einem derartigen Zustande befinden, wie er bei einem wirklichen Sinneseindrucke besteht.

Wer jede mikrokospische Beobachtung deshalb für unzuverlässig erklären wollte, weil die von verschiedenen Beobachtern gegebenen Beschreibungen des nämlichen Objects einander widersprechen, der müsste auch jeder mit unbewaffnetem Auge vorgenommenen Untersuchung misstrauen, weil die Beschreibungen, welche verschiedene Reisende von dem nämlichen Landstriche geben, manchmal auch so sehr von einander abweichend sind, dass man nicht die nämlichen Sachen und Gegenstände darin wiederfinden kann. Wer ferner dem Mikroskope die Irrthümer vorwerfen wollte, welche daraus entsprungen sind, dass ganz Unbefugte es angewendet haben, die weder mit dem Instrumente selbst, noch mit den Eigenthümlichkeiten der mikroskopischen Beobachtung vertraut waren, der würde nicht weniger verkehrt handeln, als wer es der Sternkunde zur Last legen wollte, dass Unkundige nach dem blossen Zeugniss ihrer Augen den Himmel als eine blaue Kuppel ansehen, an welcher die Sonne und die Sterne auf- und niedergehen, während die Erde feststeht.

Das mikroskopische Sehen muss erlernt werden, gleichwie ein Kind 268
oder ein Blindgeborener, der an einer Cataracte operirt wurde, mit blossem Auge zu sehen lernen muss. Um aus dem Eindrucke, welchen die Lichtstrahlen auf die Netzhaut und von hier aus auf das Gehirn machen, einen Schluss zu ziehen auf die Entfernung, die Gestalt und die übrigen Eigenschaften der Körper ausser uns, dazu ist Ueberlegung erforderlich,

die freilich in der späteren Lebenszeit meistens eine sehr kurze ist, so dass Wahrnehmung und Deutung des Wahrgenommenen fast zusammenfallen und in der Regel der Schluss, d. h. das Resultat der Wahrnehmung, richtig ist. Diese Richtigkeit ist aber abhängig von der Uebung, des Sinnesorganes sowohl als des Verstandes. Ein Kind wird noch Monate nach der Geburt nach dem Monde greifen wie nach jedem anderen näheren glänzenden Gegenstande; erst allmälig lernt es die Entfernungen beurtheilen, sowohl nach dem Gesichtswinkel, unter dem es die Körper sieht, als durch die Vergleichung mit anderen Gegenständen, die sich in ihrer Bahn befinden. Bringt man aber selbst den geübtesten Menschen in Verhältnisse, mit denen er bisher nicht vertraut war, einen Seemann z. B. oder einen Bewohner des Tieflandes in eine Gebirgsgegend, so wird sich derselbe in der Beurtheilung der Grösse und Entfernung der Gegenstände irren, und erst nach einiger Zeit wird er sich die hierzu nöthige Fertigkeit erworben haben.

269 Die Seele des Beobachters ist kein weisses Blatt, auf welches die Sinnesorgane alles richtig Befundene aufzeichnen können, kein weiches Wachs, welches alle Eindrücke der Sinnesorgane unverändert aufnimmt; sie hat vielmehr von der ersten Jugend an eine Reihe von Eindrücken empfangen, die ihr Eigenthum geworden sind und die ihrerseits wiederum modificirend auf die späteren sinnlichen Eindrücke einwirken. Die Seele empfängt aber nicht blos, sie vergleicht auch und sie beurtheilt, und in dem Maasse, als die früher erhaltenen Eindrücke durch Mannigfaltigkeit und Genauigkeit sich auszeichnen, wird auch deren Vergleichung mit den späteren Eindrücken gründlicher ausfallen, das Urtheil ein richtigeres sein. Wahrnehmung im höheren Sinne des Wortes und Beurtheilung des Wahrgenommenen lassen sich demnach nicht von einander sondern.

Mögen nun aber die Sinnesorgane noch so scharf sein, mögen die Schlüsse aus der durch frühere Eindrücke gewonnenen Kenntniss noch so richtig sein, die Wahrnehmung selbst kann ein unwahres Resultat geben. Denken wir uns z. B. den Bewohner des Binnenlandes zum ersten Male am Ufer der See, und zwar in dem Augenblicke, wo sich am Horizonte die Erscheinungen der Fata morgana kund geben. Er erblickt Häuser, Kirchen, Thürme, und diese erhaltenen Eindrücke mit früheren vergleichend, kommt er zu dem für seinen besonderen Zustand ganz logischen Schlusse, dass sich daselbst eine Stadt befindet; er irret aber, und zwar deswegen, weil er Eindrücke unter einander vergleicht, die mit einander nicht vergleichbar sind.

Eben so steht es auch mit jenem, der zum ersten Male durchs Mikroskop sieht. Er erhält durch dasselbe einen Gesichtseindruck, der für den Geübten durchaus nicht trügerisch ist, vielmehr von demselben mit gleicher Sicherheit und Leichtigkeit gedeutet wird, wie jeder andere durchs blosse Auge erhaltene Eindruck. Anders ist es jedoch beim ersteren: aus dem Wahrgenommenen schliesst er auf Uebereinstimmung mit dem, was

er mit blossem Auge auf solche Weise zu sehen gewohnt ist. Alle undurchsichtigen Objecte erscheinen schwarz, wenn sie gegen das Licht gehalten werden; sieht er nun im Mikroskope eine mit schwarzer Masse erfüllte Höhlung, so kommt er zu dem Schlusse, dass sich an jener Stelle wirklich eine schwarze Substanz befindet, oder dass es eine feste undurchsichtige Masse ist. Später entdeckt er dann auf die eine oder auf die andere Weise, dass jene undurchsichtige Masse nichts anderes als Luft ist, und nun kommt er zu dem logisch richtigen Schlusse, dass Luft, welche durchs Mikroskop im vergrösserten Maasstabe gesehen wird, ihre Durchsichtigkeit verliert. Hätte er vorher nachgedacht über den Gang der Lichtstrahlen in durchsichtigen Körpern von einer bestimmten Form, auf welche blos durchfallendes Licht wirkt, dann würde er in diese Irrthümer gar nicht gerathen sein.

Ich will mich hier nicht weiter auslassen über diese und jene Eigen- 270
thümlichkeiten der mikroskopischen Beobachtung, von denen im folgenden Abschnitte im Besonderen die Rede sein wird. Doch muss ich noch auf ein paar andere gröbere Veranlassungen zu Irrthum aufmerksam machen, von denen die Erfahrung gelehrt hat, dass sie nicht immer vermieden werden, weil man sie eben nicht kennt.

Ich meine hier zunächst das Verwirren des Wahrnehmungsobjectes mit anderen Dingen, die sich beim mikroskopischen Sehen gleichzeitig im Gesichtsfelde befinden. Dahin gehören zunächst Kritzel, Stäubchen und andere Unreinigkeiten auf der Oberfläche der Mikroskopgläser. Dieselben nehmen sich verschiedenartig aus je nach der Stelle, wo sie vorkommen. Wenn sie bei einem zusammengesetzten Mikroskope an der Oberfläche der Objectivlinsen vorkommen, dann bemerkt man sie nicht im Gesichtsfelde, sondern der Einfluss jedes Stäubchens, Grübchens oder Kritzels macht sich nur in einer entsprechenden Abnahme der Lichtstärke des Bildes bemerklich. Sitzen sie hingegen an den Gläsern des Oculars, dann werden sie leicht wahrgenommen, und zwar werden sie wegen der Nähe des Auges vergrössert gesehen, jedoch ohne scharfe Contouren. Nur beim Ramsden'schen Ocular sieht man alles Unsaubere an der Unterfläche des unteren Glases auch ziemlich scharf gezeichnet, weil diese Fläche dem Brennpunkte des oberen Glases ganz nahe ist. Man gewöhne sich deshalb daran, vor jedesmaligem Gebrauche des Mikroskops die Gläser des Objectivs sowohl als des Oculars zu untersuchen und sie zu reinigen, wenn ihre Oberflächen nicht ganz sauber sind. Dass man dadurch eine Beschädigung der Gläser nicht zu besorgen hat, diese Reinigung vielmehr erforderlich ist, um ein Mikroskop in gutem Zustande zu erhalten, das habe ich schon §. 232 dargethan.

Es tritt wohl der Fall ein, dass, wenn auch die Gläser wiederholt abgewischt werden, das ganze Gesichtsfeld doch immer aufs Neue trüb und nebelartig wird. So etwas geschieht nämlich im Winter, wenn das Mikroskop aus einem kalten Zimmer in einen erwärmten Raum gebracht

wird. Man muss dann einige Zeit warten, bis die Linsen die Temperatur des Zimmers angenommen haben, weil sich sonst fortwährend von Neuem Wasserdunst auf dieselben niederschlägt.

271 Zu den Bildern fremder Körperchen, die manchmal im Gesichtsfelde erscheinen, gehören auch jene, welche von entoptischen Erscheinungen herrühren, worüber §. 103 bis 105 das Nöthige angeführt wurde, zugleich mit Angabe der Mittel, wodurch man sich mit ihnen bekannt macht. Vorzüglich die Mouches volantes sind bei schwierigen Untersuchungen nicht selten hinderlich. Eine Verwechselung mit Objecten, die unter dem Mikroskope liegen, ist für jenen, der diese Erscheinung kennt, allerdings nicht leicht möglich, und es kann eine solche auch leicht verhütet werden, wenn man den Abstand des Objects vom Mikroskope abändert, was auf die Mouches volantes nicht den geringsten Einfluss ausübt. Beim Beobachten sehr kleiner und durchsichtiger Objecte wirken sie aber manchmal störend auf deren Sichtbarkeit ein. Um sie dann wenigstens vorübergehend zum Verschwinden zu bringen, giebt es ein einfaches Mittel: man muss das Auge nach oben richten, wodurch die Körper in der hinteren Augenkammer, welche diese Erscheinung veranlassen, aus der Augenaxe kommen und nach unten sinken. Wer diese Mouches volantes bei sich wahrnimmt (und wahrscheinlich ist dies bei allen in mehr oder weniger hohem Grade der Fall), der braucht sich übrigens deshalb nicht zu ängstigen; am allerwenigsten aber darf er ihr Auftreten dem Gebrauche des Mikroskops aufbürden und dieserhalb dasselbe aufgeben. Das Mikroskop trägt nicht die Schuld ihres Auftretens, und sie nehmen auch nicht an Menge zu durchs mikroskopische Sehen. Die Furcht, welche von Manchen (Schleiden's Grundzüge d. wiss. Botanik, Bd. I. S. 87) in Betreff der Mouches volantes geäussert wurde, entbehrt jedes Grundes und ist blos aus der falschen Ansicht entsprungen, als seien es die Schatten der Blutkörperchen in den Capillaren der Netzhaut. Nach dem, was früher über die Ursachen der Mouches volantes gesagt worden ist, bedarf aber diese Ansicht keiner Widerlegung. Aus eigener Erfahrung kann ich hier noch hinzufügen, dass ich seit vielen Jahren in beiden Augen runde sowohl als fadenartige mouches volantes bemerkt habe, ohne bei dem täglichen stundenlangen Gebrauche des Mikroskops Unbequemlichkeit davon zu verspüren oder etwa eine Vermehrung derselben.

272 Ausser den Körperchen im Auge des Beobachters oder auf der Oberfläche der Linsen können auch noch andere zu Irrthum Veranlassung geben, die sich zugleich mit dem Untersuchungsobjecte unter dem Mikroskope befinden.

Bei der Untersuchung werden Glasplättchen benutzt, auf welche die Objecte zu liegen kommen und womit man sie auch wieder bedeckt; ausserdem werden auch verschiedene Instrumente, wie Nadeln, Messer,

Scheeren u. dergl. fortwährend zum Zubereiten der Objecte benutzt, und es werden diese letzteren ausserdem noch mit Wasser oder sonst einer Flüssigkeit benetzt. Nun ist es klar, dass auf diese Weise sehr leicht Theilchen, die dem blossen Auge entgehen, z. B. die im Zimmer schwebenden Staubtheilchen, auf die eine oder die andere Weise mit dem Objecte sich vereinigen können. Es ist deshalb gut, wenn der mikroskopische Beobachter sich mit den Substanzen bekannt macht, die in der Atmosphäre seines gewöhnlichen Arbeitszimmers vorkommen, und die natürlich verschiedenartige sind, je nachdem der Boden bedeckt ist oder nicht, so wie auch nach der Art der Wandbekleidung und sonstiger im Zimmer enthaltener Gegenstände. Gewöhnlich werden in dieser Atmosphäre einige constante Körperchen vorkommen, kleine Fäserchen, Härchen u.s.w., die sich dann später leicht wieder als fremde Bestandtheile erkennen lassen.

Beim Benutzen der Glasplättchen muss vor allen Dingen darauf gesehen werden, dass sie der Reinigung unterliegen, bevor irgend ein Object auf denselben unters Mikroskop gebracht wird. Ganz dasselbe gilt auch von den Deckplättchen. Bisweilen nimmt man zu den letzteren Glimmerblättchen, und das hat den Vorzug, dass man sich Deckplättchen der Art, die sehr dünn sind, um geringeren Preis verschaffen kann. Dann muss man sich aber im Voraus mit den eigenthümlichen kleinen Rissen bekannt machen, die auch im besten Glimmer nur selten ganz fehlen und die manchmal in solchen Richtungen auf einander stossen, dass dadurch krystallinische Blättchen zum Vorschein kommen.

Beim Auswählen des Glases muss auch mit einiger Vorsicht verfahren werden. Nur jenes ist brauchbar, welches bei vorgängiger Prüfung mit dem Mikroskope ganz reine Oberflächen gezeigt hat. Nicht sowohl die grösseren Risse und Unebenheiten sind hier schädlich, denn diese werden leicht genug erkannt, sondern vor Allem die kleinen, dem blossen Auge nicht erkennbaren feinen Streifchen oder Fleckchen. So kommen manchmal am Spiegelglase ganz kleine rothe Fleckchen vor, meistens von rundlicher Gestalt, die nichts anders sind als Eisenoxyd, das sich während des Polirens in die Höhlen der Luftbläschen absetzte, welche durch das Schleifen geöffnet worden waren. Solche rothe Fleckchen oder Punkte sind von einem sonst sehr geübten Mikroskopiker als Bestandtheile der organischen Gewebe angesehen und als solche gezeichnet worden. Es haben aber noch gröbere Verwechselungen stattgefunden: Amylumkörner wurden z. B. als charakteristische Bestandtheile der Sputa bei Phthisikern beschrieben und abgebildet; Andere dagegen haben wieder Fleischfasern und ähnliche, zufällig den Sputa beigemischte Speisereste als solche bezeichnet. Man hat ferner die Streifen, welche beim Durchschneiden harter oder auch weicher, vorgängig getrockneter Substanzen jederzeit auf der Schnittfläche entstehen und von den Unebenheiten des Messers herrühren, für Fasern an den Grenzlinien von Plättchen gehalten. Solche Irrthümer sind zu bedauern, weil sie bei einiger

Aufmerksamkeit und Sachkenntniss leicht zu vermeiden gewesen wären. Sie beweisen aber nur, dass man bei der mikroskopischen Untersuchung, gleichwie bei jeder andern, niemals zu grosse Sorgfalt darauf verwenden kann, Alles zu entfernen, was dem zu untersuchenden Objecte fremd ist, oder was störend auf dasselbe einwirken kann, oder doch wenigstens keine Verwechselung damit eintreten zu lassen, wenn jene Vorsicht nach der Natur der Sache nicht ausreichen kann.

Zweiter Abschnitt.

Die mikroskopische Wahrnehmung und deren Eigenthümlichkeiten.

Im vorhergehenden Abschnitte führte ich an, das mikroskopische 273
Sehen müsse von Jenem, der noch nicht daran gewöhnt ist, eben so erlernt werden, wie das Kind oder der Blindgeborene, der an einer Cataracte operirt wurde, seine Augen zum Sehen zu verwenden lernen muss. Daraus folgere man aber nicht, dass das mikroskopische Sehen so ganz verschieden ist vom Sehen mit blossem Auge, dass es viel Zeit und Anstrengung verlangt, bevor man sich die zu Beobachtungen nöthige Fertigkeit erworben hat. Man darf vielmehr unbedenklich behaupten, dass für jedes Kind das Sehenlernen in den ersten Lebensmonaten etwas weit Schwierigeres ist, als wenn Jemand, der gute Augen hat und dieselben bereits gehörig zu gebrauchen versteht, durchs Mikroskop zu sehen lernen will.

Zudem ist es nicht wahr, dass man durchs Mikroskop die Dinge wirklich anders sieht, als mit blossem Auge. Der alleinige Unterschied liegt darin, dass beim mikroskopischen Sehen die Körper in der Regel sich unter solchen Umständen befinden, in denen sie beim gewöhnlichen Sehen selten vorkommen.

Zuvörderst kommt hier in Betracht, dass es für die meisten mikro- 274
skopischen Untersuchungen erforderlich ist, die Objecte theilweise oder vollkommen durchsichtig zu machen und alsdann bei durchfallendem Lichte zu untersuchen, weil man laut der Erfahrung auf diese Weise am besten in die feinere Zusammensetzung der Körper eindringen und Einzelnheiten wahrnehmen kann, die bei auffallendem Lichte viel schwieriger oder auch gar nicht zu erkennen sind, insofern die Menge der reflectirten

Lichtstrahlen dabei zu niedrig ausfällt. Fast alle Wahrnehmungen mit blossem Auge werden nun aber bei letzterer Beleuchtungsart ausgeführt, und schon oben (§. 97) wurde erwähnt, dass die Gesichtseindrücke von den gewöhnlichen ganz abweichen und mit jenen bei der mikroskopischen Beobachtung übereinstimmen müssten, wenn durchsichtige Gegenstände blos bei durchfallendem Lichte betrachtet würden. Somit besteht kein wirklicher, sondern nur ein scheinbarer Unterschied, und man würde die Art, wie sich durchsichtige Objecte in Folge der Brechung, Reflexion oder Absorption der Lichtstrahlen im Gesichtsfelde des Mikroskops darstellen, ganz nachmachen können, wenn man ähnliche, nur grössere Dinge, etwa Glaskugeln, Linsen, Röhren, Krystalle, Schaum von Seifenwasser u. dgl. in ein undurchsichtiges Futteral brächte und dieses so gegen das Licht hielte, dass alles auffallende Licht ausgeschlossen würde.

Einen durchsichtigen Körper erkennt man unterm Mikroskope blos daran, dass ein Theil jener Strahlen, welche in das Gesichtsfeld eintreten, nicht zum Auge gelangt. Bei solchen durchsichtigen Körpern, die allen farbigen Strahlen einen gleichmässigen Durchtritt gestatten, ist die Sichtbarkeit der Objecte demnach abhängig: 1) von ihrer Form; 2) von der Ungleichheit des Brechungsvermögens jener Substanz, woraus der Körper besteht, und jenes Mediums, worin derselbe befindlich ist. Hier gilt Alles, was bereits früher §. 97 bis 99 darüber angegeben worden ist. Es sind daher nur diese beiden Umstände in ihrem Verhalten zu den mikroskopischen Objecten in Betrachtung zu ziehen.

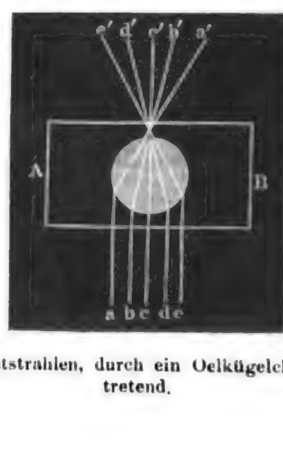
275 Von allen Formen wirkt die Kugelform am stärksten auf die Abweichung der Lichtstrahlen ein. Beispielshalber mögen nur Luftbläschen sowie Oel- oder Fettkügelchen genannt werden, weil dies zugleich sehr gewöhnliche mikroskopische Objecte sind: beide zeigen scharfe Contouren, sind dunkel in der Nähe des Randes, und nur ihre Mitte ist hell. Zum Verständniss können die Figuren 122 und 123 beitragen. In Fig. 122 ist

Fig. 122.



Lichtstrahlen, durch ein Luftbläschen tretend.

Fig. 123.



Lichtstrahlen, durch ein Oelkügelchen tretend.

eine Luftblase dargestellt, welche von einem stärker brechenden Medium AB, von Glas, Wasser u. dergl. eingeschlossen wird. In Fig. 123 soll ein Fett- oder Oeltröpfchen von einem schwächer brechenden Medium AB umgeben sein. Es ist in den Figuren angegeben, welchen Weg die senkrecht auffallenden parallelen Strahlen *abcde* nehmen werden, wenn sie durch das Luftbläschen oder durch das Fetttröpfchen gedrungen sind. Nur der mittelste Strahl *c* setzt in beiden Figuren seinen Weg ohne Brechung fort und erreicht das Auge; die an der Peripherie auffallenden Strahlen dagegen weichen zu sehr von ihrer Bahn ab (nur im Fetttröpfchen im umgekehrten Sinne als bei dem Luftbläschen), als dass sie in das Auge gelangen könnten. Die Peripherie oder die Ränder erscheinen deshalb dunkel, und der dunkle Rand ist um so grösser, je mehr sich das Brechungsvermögen von jenem des umgebenden Mediums unterscheidet. Deshalb ist bei den Luftbläschen dieser dunkele Theil am breitesten, weil das Brechungsvermögen von Wasser und Luft mehr differirt als von Wasser und Fett. Ausserdem entsteht auch noch beim Luftbläschen, wenn dasselbe seine Kugelform behalten hat, ein Scheinbild von jedem unter dem Objecttische befindlichen oder im Spiegel sich reflectirenden Körper, welches sich demnach unterhalb des Luftbläschens befindet und nur dadurch sichtbar wird, dass man das Objectiv demselben mehr nähert. Bei ganz runden Oel- und Fettkügelchen dagegen nimmt man ein wahres Bild wahr, das sich aber oberhalb der Oberfläche des Kügelchens befindet.

Luftbläschen und Fettkügelchen sind deshalb ohne Mühe von einander zu unterscheiden. Doch auch alle anderen kugelförmigen durchsichtigen Körperchen machen sich in dieser Weise bemerklich. So besitzen z. B. viele anorganische Substanzen, wie kohlensaurer Kalk und andere, die Eigenschaft, unter begünstigenden Umständen kleine, ganz runde Kügelchen zu bilden (s. Harting, *Etude microscopique des précipités et de leurs métamorphoses* im *Bulletin de Neerlande.* 1840), die mit Fettkügelchen sehr viel Uebereinstimmung zeigen. In einem solchen Falle kommt man jedoch alsbald ins Klare, wenn man auf das Plättchen, womit das Object bedeckt ist, einen schwachen Druck ausübt. Kugelförmige Körperchen aus einer festen Substanz bleiben dabei unverändert oder sie bersten; Luftbläschen und Oeltröpfchen oder Fettkügelchen werden dadurch abgeplattet, der frühere schwarze Rand verschwindet ganz, man erkennt nur noch die Contouren, das übrige aber ist hell geworden, weil die Lichtstrahlen durch die ebenen Oberflächen unverändert zum Auge gelangen.

Manchmal sind Luftbläschen, Fettkügelchen oder andere das Licht 276
stark brechende Substanzen in Höhlungen enthalten, und wenn mehrere solche Höhlen über einander liegen, so dass sie einander zum Theil decken, dann bemerkt man nichts mehr von dem hellen Raume, der sonst in den Kügelchen und Bläschen sichtbar ist, vielmehr erscheint das Ganze dunkel und schwarz, weil kein einziger Lichtstrahl seinen Weg unge-

brochen fortsetzen kann. Unter den vegetabilischen Geweben kommt dies z. B. bei den luftführenden, noch im Gefässbündel enthaltenen Spiralgefässen vor, sowie bei den Athmungshöhlen unterhalb der Stomata; von animalischen Geweben sind hier zu nennen die mit Luft gefüllten Markzellen der Haare und der Federn, die Talgdrüschen der Haare, die Meibom'schen Drüsen der Augenlider u. s. w., in denen fettige Substanzen eingeschlossen sind. Dass man es hier nicht mit wirklichen schwarzen Massen zu thun hat, davon überzeugt man sich sogleich, wenn das durchfallende Licht mit auffallendem vertauscht wird: fettige Substanzen zeigen dann ihre eigenthümliche Farbe, die meistens gelbweiss ist, fein zertheilte Luft aber erscheint hellweiss und in Folge der stärkeren Reflexion glänzend. Uebrigens müssen in derartigen Fällen oftmals chemische Mittel angewendet werden, von denen später die Rede sein wird.

277 Das eben angeführte Beispiel, dass nämlich abgeplattete Luftbläschen und Fettkügelchen im Vergleich zur kugelförmigen Gestalt derselben weniger wahrnehmbar sind, thut schon klar dar, dass die Sichtbarkeit der Objecte bei durchfallendem Lichte zum guten Theil durch ihre Form bestimmt wird; aber auch die Verschiedenheit im Brechungsvermögen des umgebenden Mediums ist darauf von Einfluss. Dieser Punkt erfordert eine nähere Betrachtung wegen seiner grossen Wichtigkeit bei mikroskopischen Beobachtungen.

Betrachtet man verschiedene Objecte unter Wasser durchs Mikroskop, so wird man alsbald finden, dass manche, wenn sie auch gleichgestaltet sind mit den übrigen, nichtsdestoweniger durch dunklere Contouren sich auszeichnen. Sehr in die Augen fallend ist dieser Unterschied z. B. zwischen den sogenannten elastischen Fasern und den Fasern des Bindegewebes, der Sehnen u. s. w., zwischen denen sie wahrgenommen werden. Ein etwas geübter Beobachter erkennt die erstere Art von Fasern sogar augenblicklich an dieser Eigenschaft. Elastische Fasern sind deshalb schon bei einer Vergrösserung zu unterscheiden, wo von gleich dicken Bindegewebsfasern noch keine Spur zu sehen ist. Wäre nun eine Flüssigkeit ausfindig zu machen, deren Brechungsvermögen gerade um so viel von jenem der Bindegewebsfasern differirte, als das Brechungsvermögen des Wassers von jenem der elastischen Fasern differirt, dann würden ohne Zweifel die ersteren darin gleich scharf und deutlich gesehen werden, als die letzteren jetzt im Wasser erscheinen. Die Entdeckung einer solchen Flüssigkeit, die zugleich den organischen Geweben keinen Schaden brächte, würde ein sehr grosser Gewinn für die mikroskopische Beobachtung sein; es ist mehr als wahrscheinlich, dass wir dadurch würden in den Stand gesetzt werden, Besonderheiten wahrzunehmen, welche dem Auge jetzt entgehen, weil die Differenz zwischen dem Brechungsvermögen der untersuchten Körper und des Wassers, als der am schwächsten brechbaren unter den bekannten Flüssigkeiten,

zu gering ist und somit die Lichtstrahlen keine merkliche Ablenkung erfahren.

Das einzige, was in dieser Hinsicht geschehen kann, besteht darin, dass man die Gegenstände in der Luft, d. h. trocken untersucht. Oftmals freilich ist dieses Hülfsmittel nicht anwendbar, weil die meisten organischen Substanzen durch Eintrocknen ihre Form zu sehr verändern; es giebt aber Fälle, wo wir uns desselben mit Nutzen bedienen können. Dass wirklich auf diese Weise Besonderheiten zur Ansicht kommen können, die sonst nicht in die Augen fallen, davon liefern die Schüppchen der Insecten, namentlich die als Probeobjecte benutzten (§. 237), ein sprechendes Beispiel. Dieselben werden gewöhnlich trocken und in der Luft liegend untersucht, wo man dann die früher beschriebenen längslaufenden und querlaufenden Streifen unterscheidet. Werden sie jedoch mit Wasser befeuchtet, so entdeckt man von den letzteren oftmals keine Spur mehr, und die ersteren sind viel undeutlicher geworden.

Das Nämliche finden wir auch, nur in umgekehrter Weise, bei der Untersuchung mancher organischer Substanzen, die sich dazu eignen. So sind z. B. die zarten und sehr durchsichtigen Cilien mancher Infusorien viel besser sichtbar nach dem Eintrocknen, ebenso die feinen Streifen auf den Kieselpanzern mancher Diatomeen. Das Nämliche gilt von den Spermatozoen, namentlich jenen der Tritonarten, die einen eigenthümlichen Anhang besitzen, der spiralig um den Körper gewunden ist. Dieser Anhang ist eine ganz dünne zarte Membran und unter Wasser so durchsichtig, dass man ihn alsdann nur mit einem ganz vorzüglichen Mikroskope wahrnehmen kann. Sind aber diese Spermatozoen auf ein Glasplättchen aufgetrocknet, dann ist jener Anhang sehr leicht zu erkennen.

Gleichwie es sehr wichtig sein würde, wenn wir eine Flüssigkeit 278
benutzen könnten, deren Brechungsindex unter jenem des Wassers steht, so ist auch die Anwendung von Flüssigkeiten, welche das Licht stärker brechen als Wasser, deshalb sehr wichtig, weil wir dadurch in den Stand gesetzt werden, einzelne Objecte durchsichtig zu machen, die in Luft oder Wasser gar nicht oder doch wenigstens in zu schwachem Maasse durchsichtig sind, als dass ihre zusammensetzenden Theile gut zu unterscheiden wären. Glücklicherweise bietet sich hier eine ziemliche Auswahl, und es kommt blos darauf an, eine Flüssigkeit zu wählen, welche dem Zwecke am besten entspricht, dass nämlich die Durchsichtigkeit genugsam erhöht wird, ohne den Besonderheiten, die sichtbar gemacht werden sollen, Abbruch zu thun, und dass jene Flüssigkeit zugleich auch dem zu untersuchenden Objecte keinen Schaden bringt. Für organische Körper im feuchten Zustande können mehr oder weniger concentrirte Auflösungen von Gummi, von Eiweiss, von Zucker, von Glycerin und von manchen Salzen in Anwendung kommen; für trockne Körper, wo man zugleich eine grosse Durchsichtigkeit herbeizuführen wünscht, kön-

nen fette und ätherische Oele, wie Olivenöl, Terpentinöl, Anisöl, venetianischer Terpentin und Canadabalsam in Frage kommen.

Wir wollen die Sache auch wiederum durch ein Beispiel klar machen. Die Pollenkörnchen der Pflanzen sind, wenn man sie trocken, d. h. in der Luft betrachtet, so ganz undurchsichtig, dass man von ihrer inneren Zusammensetzung durchaus nichts unterscheiden kann. Durch Befeuchtung mit Wasser werden viele halbdurchsichtig, und man kann dann einen aus kleinen Körnchen bestehenden Inhalt, die sogenannte Fovilla, erkennen. Diese Durchsichtigkeit nimmt noch zu, wenn stärker brechende wässerige Flüssigkeiten genommen werden, etwa eine concentrirte Lösung von Chlorcalcium, wo dann die Structur mancher Pollenkörnchen, namentlich der kleineren Arten, schon sehr gut erkennbar wird. Noch deutlicher wird die Structur durch Schwefelsäure, die hier ohne Nachtheil genommen werden kann, weil die äussere Membran der Pollenkörnchen dadurch nicht angegriffen wird. Bringt man sie endlich in Terpentinöl, dann werden sie alle so glasartig durchsichtig, dass jetzt vom körnigen Inhalte nichts mehr zu erkennen ist, dagegen aber nun die zwei oder drei Häute, aus denen sie bestehen, die Poren, die zellenartigen Zeichnungen oder sonstige Erhabenheiten an der äusseren Membran mit grosser Klarheit und Deutlichkeit wahrgenommen werden.

In der That kommen noch viele andere Fälle bei der mikroskopischen Untersuchung vor, wo es nur durch Anwendung stärker brechender Medien möglich wird, in einem Körper etwas anderes als eine dunkle Masse zu entdecken. Das Gefüge der Korallen, der Molluskenschalen, vieler Mineralien, z. B. der mit Foraminiferen erfüllten Kreide u. s. w., würde niemals gut zu erkennen sein, wenn uns blos Luft und Wasser zu Diensten ständen. Nur glaube man nicht, jene Medien, welche die stärkste Sichtbarkeit herbeiführen, seien auch jedesmal die passendsten. Gleichwie durch Terpentinöl der Inhalt der Pollenkörnchen unsichtbar wird, so verschwinden nicht selten durch solche Medien scheinbar einige Bestandtheile, die in einer Flüssigkeit von geringerem Brechungsvermögen sichtbar geblieben sein würden. Wenn es daher die Beschaffenheit des Untersuchungsobjects zulässt, so wende man in einer Reihenfolge immer stärker brechende Flüssigkeiten an, und es wird sich alsdann oftmals zeigen, dass Einzelnheiten, von denen in der einen Flüssigkeit keine Spur wahrzunehmen ist, in einer anderen ganz deutlich hervortreten.

279 Noch andere Fälle kommen vor, wo gleichzeitig mit einer chemischen Umwandlung innerhalb der Körper eine Veränderung stattfindet, die ihren Einfluss auf die Lichtstrahlen übt, so dass nun einzelne Theile weit eher sichtbar werden, ja manchmal erst hierdurch zum Vorschein kommen, wo früher keine Spur von ihnen aufzufinden war. Das einfachste Beispiel der Art hat man an den Blutkörperchen der Reptilien und Fische, an denen man während des Lebens, so lange das Blut noch durch die Gefässe strömt, aber auch noch in den ersten Augenblicken nach dem Aus-

tritte des Blutes aus den Gefässen kaum etwas von dem darin enthaltenen Kerne wahrnehmen kann. Allmälig indessen sieht man diese Kerne immer deutlicher und deutlicher zum Vorschein kommen, bis sie zuletzt gleich scharfe Contouren haben, als die Blutkörperchen selbst. Was hier lediglich durch innere Umsetzung der Materie geschieht, das kann in vielen Fällen auch zu Stande kommen, wenn chemisch wirkende Mittel zugesetzt werden. So besitzen die meisten Säuren die Eigenschaft, das lichtbrechende Vermögen jener Substanz, woraus die Kerne der animalischen wie vegetabilischen Zellen bestehen, bedeutend zu erhöhen, so dass Kerne, die wegen der blassen Contouren früherhin nur mit Mühe zu unterscheiden waren, durch Zusatz von Säuren scharfe und dunkle Ränder bekommen, ja dass selbst in vielen Zellen, worin vor dem Zusatze einer Säure durchaus nichts Kernartiges zu entdecken war, die Kerne dann mit grosser Klarheit hervortreten. Auf die Zellmembranen, namentlich der thierischen Zellen, üben manche Säuren eine ganz entgegengesetzte Wirkung: durch ihren Zusatz nimmt das lichtbrechende Vermögen ab, und sogar wohl in einem solchen Grade, dass endlich jede Spur desselben verschwunden ist.

In derartigen Fällen, ja im Allgemeinen in allen Fällen, wo nichts 280
durchs Mikroskop gesehen wird, ist der Beobachter auch sehr geneigt zu dem Schlusse, die Dinge existirten nicht. Wenn sie früher vorhanden waren und später verschwanden, dann erklärt man dieselben für aufgelöst in der Flüssigkeit, die zugesetzt wurde. Aus dem oben Mitgetheilten ersieht man aber, wie voreilig ein solcher Schluss sein kann: die Fovilla der Pollenkörnchen z. B. wird durch das Terpentinöl nicht aufgelöst, wenn sie auch dadurch ganz unsichtbar wurde, denn nach der Verdunstung des ätherischen Oels kommt sie wiederum unverändert zum Vorschein; ebenso wird in vielen Fällen, wo die Zellmembranen durch Zusatz von Säuren unsichtbar geworden sind, eine Neutralisirung der Säure ausreichen, um dieselben wiederum zur Ansicht zu bringen.

Hieraus ist nun als allgemeine Regel zu entnehmen, dass, wenn in dem Gesichtsfelde des Mikroskops nichts gesehen wird, dies noch nicht zu dem positiven Schlusse berechtigt, es sei auch nichts darin vorhanden, sondern nur zu dem Schlusse, dass entweder das lichtbrechende Vermögen eines etwa vorhandenen Körpers von jenem des umgebenden Mediums zu wenig differirt, oder dass derselbe eine solche Form hat, vermöge deren die Strahlen, welche das Gesichtsfeld erleuchten, keine Ablenkung erfahren. Man bringe z. B. einen Tropfen einer sehr concentrirten Auflösung von Chlorcalcium oder von salpetersaurem Kalke auf ein Objecttäfelchen, und an die Unterfläche eines Deckplättchens bringe man einen Tropfen einer ebenfalls concentrirten Solution von kohlensaurem Kali oder kohlensaurem Natron. Legt man letzteres auf das erstere, so dass die beiden Tropfen zusammenkommen, so entsteht natürlich ein Niederschlag aus kohlensaurem Kalke. Gleichwohl wird von diesem

nichts wahrgenommen werden, wenn man das also zubereitete Plättchen unters Mikroskop bringt. Dies hat aber darin seinen Grund, dass das Präcipitat in diesem Falle ein vollkommen durchsichtiges Häutchen ist, welches ausgebreitet daliegt, so dass kein einziger Lichtstrahl, welcher hindurchgeht, von seiner Richtung abweicht. So wie aber das Deckplättchen etwas hin und her geschoben wird, bilden sich Faltungen in diesem Häutchen, die sich dunkel darstellen, wenn die Lichtstrahlen durch die gekrümmte Oberfläche dringen, und daran erkennt man dann das Vorhandensein des Häutchens auf der Stelle. Dergleichen kommt bei mehreren organischen Häuten vor, bei der Linsenkapsel, bei der *Membrana hyaloidea*, die wegen ihrer Durchsichtigkeit nur an den Faltungen oder an den Rändern zu erkennen sind. Das Nämliche beobachtet man aber auch an den Wandungen vieler Zellen, deren Membran manchmal so durchsichtig und scheinbar homogen ist, dass nur die Ränder derselben sichtbar werden.

281 Hieraus ergiebt sich, dass Fälle vorkommen können, in denen es unmöglich ist, eine wirkliche Oeffnung von der dieselben umgebenden Membran zu unterscheiden; die Geschichte der Mikroskopie lehrt aber wirklich, dass es oftmals sehr schwer fällt, darüber zu vollkommener Gewissheit zu kommen. Hieraus erklärt sich z. B. die irrige Ansicht, nach welcher die Blutkörperchen Ringe sein sollten, und ebenso sind die verschiedenen Annahmen über die Beschaffenheit der getüpfelten Zellen und Gefässe der Pflanzen darin begründet. Das beste Mittel, welches in solchen Fällen angewendet werden kann und wodurch auch meistens jede Ungewissheit gehoben wird, ist dieses, dass man Substanzen zusetzt, wodurch die vorhandenen Membranen stark gefärbt werden. Am meisten wird Jodtinctur zu diesem Zwecke benutzt. Doch muss ich in Betreff dieser Mittel auf einen späteren Abschnitt verweisen.

282 Bei den mikroskopischen Untersuchungen drängt sich nicht selten die Frage auf, ob ein Körperchen aus einer continuirlichen Membran besteht und hohl ist, oder ob es nicht hohl ist. Es handelt sich also z. B. darum, Zellen oder Bläschen von Kügelchen, Röhren von Fasern zu unterscheiden. Manchmal fällt diese Entscheidung nicht gerade schwer. Wenn wir deutlich zwei scharfe Grenzlinien wahrnehmen, von denen die eine das Object vom umgebenden Medium trennt, die andere aber die innere Fläche vom Inhalte scheidet, wie es bei den meisten Pflanzenzellen vorkommt, dann brauchen wir uns in der Regel gar nicht zu bedenken. Ich sage in der Regel, denn es kommen Fälle vor, wo man durch scheinbare Bläschen oder Röhrchen in Irrthum geführt werden kann, die allein dadurch sich bildeten, dass zwei sich nicht mit einander mischende Flüssigkeiten in einen Zustand versetzt wurden, wobei die eine als Inhalt, die andere als Hülle sich verhält. Ein Beispiel dafür liefert jene Substanz, welche durch Compression aus den gequetschten Röhrchen des

Gehirns, des Rückenmarks oder der Nerven ausfliesst; dieselbe besteht aus fettigen und albuminösen Theilen und bildet doppelt contourirte Kügelchen und Fasern, zum Theil von so regelmässiger Gestalt, dass sie wirklich grossentheils Bläschen und Röhrchen gleichen und auch als solche beschrieben worden sind. Die doppelten Contouren entstehen hier dadurch, dass die äussere Schicht eine fettige Substanz ist, die innere Schicht eine albuminöse. Man kann sich von dem Vorgange leicht überzeugen, wenn man auf die Bildung dieser scheinbaren Bläschen und Röhrchen achtet, während die Substanz aus den Primitivröhren ausströmt. Wenn man sie aber zwischen dem Objectglase und dem Deckplättchen hin und her rollt, so theilen sie sich, ohne dass eine Spur eines Häutchens auftritt, und es kommen immer wieder andere, nur kleinere Theilchen zum Vorschein, die gleich den ersteren doppelte Contouren erkennen lassen.

Nicht selten wird aber das Urtheil darüber, ob ein Object hohl ist oder nicht, noch durch andere Umstände erschwert. Vor Allem können zwei Dinge hinderlich sein. Zuerst nämlich kann das Brechungsvermögen des Inhalts von jenem der Substanz, woraus die Membran besteht, zu wenig differiren. Wir sehen das unter andern bei den Fettzellen, die sich ganz wie Fettkügelchen ohne eine umkleidende Membran ausnehmen; wir sehen es aber auch an den Nervenprimitivröhren im ersten Augenblicke, wo sie aus dem lebenden Körper genommen werden, indem sich die doppelten Contouren an ihnen erst dann zeigen, wenn gewisse Veränderungen ihres Inhalts eingetreten sind, wodurch ihr Brechungsindex eine Veränderung erleidet. Zweitens aber kann auch das ganze Object zu klein, oder es kann die Membran selbst zu dünn sein, als dass man über das Vorhandensein der letzteren durch die blosse Wahrnehmung ins Klare kommen könnte. In solchen Fällen muss man dann zu anderen Hülfsmitteln seine Zuflucht nehmen.

Manchmal hilft hier ein Druck, der entweder blos mittelst eines Deckplättchens oder mittelst des später zu beschreibenden Compressoriums ausgeübt wird. Ist schon eine Oeffnung zugegen, wie bei den durchschnittenen Primitivröhren der Nerven, dann entleert sich der Inhalt aus der umgebenden Hülle, oder wenn Luft eingeschlossen ist, so kommt diese in der Form von Bläschen zum Vorschein. Wenn die zu untersuchenden Körperchen eine gewisse Festigkeit besitzen, wie etwa Amylumkörnchen, so zerspringen dieselben durch den Druck zwischen zwei Glasplättchen in wahre Stücken, wodurch der thatsächliche Beweis geliefert ist, dass es feste Körperchen sind und keineswegs Bläschen, wie es von Manchen behauptet worden ist.

Wahre Zellen bersten auch bisweilen, z. B. die aus dem Ovarium genommenen thierischen Ovula; ist der Inhalt derselben ausgedrückt, so bemerkt man die Membran leicht an den Rändern des Risses, oder an den sich bildenden Falten und Runzeln. Indessen kommt es nicht selten vor, dass man auf diesem Wege zu keiner Gewissheit gelangt; denn die Membranen vieler organischen Zellen sind ungemein ausdehnbar, so dass

sie sich, ohne zu bersten, ganz plattdrücken lassen, was man auch bei festen Körpern, die aus einer weichen Substanz bestehen, zu beobachten Gelegenheit findet.

Manchmal ist mit gutem Erfolge das bekannte endosmotische Vermögen der Membranen zu benutzen, um über ihr Vorhandensein ins Klare zu kommen. Wahre Zellen oder Röhren werden in einer Flüssigkeit, welche wässeriger ist als ihr Inhalt, nach allen Dimensionen oder doch nach einigen Richtungen aufschwellen, wenn nicht dieser Inhalt austreten kann, wie bei durchschnittenen Nervenröhren, Harnkanälchen u. s. w. Wäre die umgebende Flüssigkeit dagegen nicht so wässerig als der Inhalt, dann tritt das Umgekehrte ein, nämlich ein Zusammenschrumpfen der Membran. Auf diesem Wege lässt sich z. B. die Existenz einer wahren Hülle der Blutkörperchen darthun.

Bei lufthaltigen Röhrchen oder Canälchen wird das Vorhandensein der Höhlen durch die capillare Aufsaugung von Flüssigkeiten erwiesen, wobei es zur Austreibung der Luft oder zu deren Absorption durch die Flüssigkeit kommt. Das beobachtet man z. B. bei den Tracheen der Insecten, deren feinste so dünn sind, dass sie bei den stärksten Vergrösserungen nur als ganz zarte Streifchen erscheinen.

Ferner können auch chemisch wirkende Mittel zu Hülfe genommen werden, von denen es bekannt ist, dass sie auf den Inhalt eine andere Wirkung äussern als auf die muthmassliche Hülle. Lässt man z. B. Aether und Alkalien auf das Fettgewebe einwirken, so kann man die Membranen der das Fett umschliessenden Zellen zur Ansicht bringen.

Manchmal fällt es schwer, Bläschen oder Zellen von dünnen Platten zu unterscheiden, wenn deren Inhalt allmälig vertrocknet, die Zelle dadurch einschrumpft und, weil sie aus dem Zusammenhange mit den übrigen Zellen gerissen ist, abgeplattet sich darstellt. In diesem Falle helfen Mittel, welche wiederum eine Ausdehnung des Inhalts herbeiführen, so dass die Zelle ihre frühere Gestalt bekommt. Epithelialgebilde, die mit Essigsäure oder besser noch mit einer Auflösung von Aetznatron behandelt werden, Nägel, Hörner u. s. w. sind derartige Beispiele.

Es giebt noch ein Moment, das man oftmals für genügend erachtet, um daraus auf die zellige Natur eines Körperchens zu schliessen, wenn nämlich andere kleinere und regelmässig geformte Körperchen darin vorkommen, nämlich kleinere Zellen oder Kerne, welche durch die äussere Fläche hindurch können wahrgenommen werden. In vielen Fällen ist dieser Schluss auch ein ganz begründeter; nur vergesse man nicht, dass er sich blos auf Analogie mit anderen als wahre Zellen erkannten Körperchen stützt, und dass auch in ganz festen Körperchen ein Kern vorkommen kann, der vermöge des verschiedenen Aggregationszustandes das Licht auf andere Weise durchgehen lässt als die äusseren Lagen, und dadurch sich als verschieden von diesem zu erkennen giebt. Einige Präcipitatkörperchen, namentlich Kupferoxyd und kohlensaurer Kalk, können als Beweis dafür dienen. Ein eingeschlossener Kern oder

auch mehrere begründen demnach nur die Wahrscheinlichkeit der zelligen Beschaffenheit; um diese jedoch ganz festzustellen, muss ausserdem noch die Anwesenheit einer Membran durch eins der genannten Mittel oder auf sonst eine Weise dargethan werden.

Es ist hier auch auf ein paar Erscheinungen aufmerksam zu machen, 283
welche mit dem Gange der Lichtstrahlen durch die Objecte und längs der Objecte im Gesichtsfelde in nothwendigem Zusammenhange stehen und die schon mehrmals bei solchen, die mit derartigen Erscheinungen nicht bekannt waren, zu Irrthümern Veranlassung gegeben haben. Ich habe zunächst die feinen Linien im Auge, welche durch Diffraction und die dabei stattfindende Interferenz entstehen und deren schon §. 207 mit einem Worte gedacht worden ist.

Die Erscheinung selbst kann Jeder an einem guten Mikroskope leicht wahrnehmen, und zwar um so eher, je besser das Mikroskop ist; denn die grössere Sichtbarkeit dieser Diffractionslinien hält gleichen Schritt mit der Verbesserung der Aberrationen, und wenn die Ränder der Bilder selbst schärfer hervortreten, so werden auch diese Linien bestimmter wahrgenommen.

Um sich ganz vertraut mit ihnen zu machen, was das beste Mittel ist, um nicht dadurch irregeführt zu werden, bringe man Objecte mit dunkeln und scharfen Rändern unter das Mikroskop; Luftbläschen eignen sich z. B. recht gut hierzu. Man wird dann um den Rand einen kleinen hellen Lichtsaum bemerken, der selbst wieder von einer dunkeln Linie begrenzt wird, fast so, als wenn das Object mit einem dünnen Häutchen umgeben wäre, wofür es auch nicht selten angesehen und selbst demgemäss beschrieben und abgebildet wurde; ein Irrthum, der um so verzeihlicher ist, weil der Abstand der dunkeln Diffractionslinie vom Rande des Objects durch stärkere Vergrösserung zunimmt, ganz eben so, wie eine Membran dadurch sich dicker darstellen würde. Manchmal nimmt man nicht blos eine, sondern zwei oder drei, ja selbst vier solche Linien wahr, was ja bei den gewöhnlichen Diffractionserscheinungen ebenso beobachtet wird, und bei starken Vergrösserungen gewahrt man an den Rändern dieser Linien auch wohl prismatische Farben. Die Linie übrigens, welche dem Rande des Objects zunächst sich befindet, ist immer die dunkelste. Es bedarf einer entsprechenden Beleuchtung, um diese Linien gut zu sehen. Es ist nicht richtig, wenn man angegeben hat, sie entständen vorzugsweise durch starke Beleuchtung; im Gegentheil verschwinden sie dadurch, wenn sie bei einer schwächeren Beleuchtung des Gesichtsfeldes sichtbar waren. Sie folgen in dieser Beziehung ganz der nämlichen Regel, wie alle sehr durchsichtigen und das Licht nur wenig brechenden Körper. Vergeblich versucht man auch, sie durch eigens dazu construirte Beleuchtungsapparate (§. 207) verschwinden zu machen, da in dem Momente, wo sie aufhören würden sichtbar zu sein, auch die am schwersten wahrnehmbaren wirklichen Objecte nicht mehr

sichtbar sein würden. Es scheint mir dies auch durchaus nicht nöthig zu sein, da diese Linien etwas Eigenthümliches haben, was sich zwar nicht gut in Worte fassen lässt, was aber für einen etwas geübten Beobachter vollkommen ausreicht, um nicht irregeführt zu werden. Schon ihr allgemeines Vorkommen sichert hinlänglich dagegen. Ueberdies sind sie nur bei durchfallendem, nicht aber bei auffallendem Lichte sichtbar, was Jeder leicht begreiflich finden wird, der mit der Theorie der Diffractionserscheinungen bekannt ist: bei durchfallendem Lichte bilden die Objecte im Gesichtsfelde Schattenbildchen, bei auffallendem Lichte dagegen entstehen wahre Lichtbilder. In der abwechselnden Anwendung beider Beleuchtungsweisen bietet sich somit für viele Fälle ein Mittel dar, den wahren Ursprung dieser Linien zu erkennen.

Es können diese Diffractionslinien überall entstehen, wo Lichtstrahlen an den Rändern eines Körpers vorbeigehen. Wenn sich nun viele kleine Körperchen nahe bei einander im Gesichtsfelde befinden, dann berühren sich die gegenseitigen Diffractionslinien oder fliessen in einander; da sie aber bei Beleuchtung mit diffusem Lichte immer sehr schwach sind, so kommt in einem solchen Falle nur wenig davon zur Wahrnehmung. Anders gestaltet sich die Sache, sobald ein Object nur in geringem Grade durchsichtig ist und dasselbe aus diesem Grunde durch direct von unten darauffallendes Sonnenlicht beleuchtet wird. Zwischen den verschiedenen kleinen Theilen, aus denen dasselbe besteht, erleiden die Strahlen alsdann vielfache Interferenzen, und diese sind deutlich sichtbar. Man kann sich aber die Erscheinung so vorstellen, als wären alle diese Theilchen von Diffractionslinien umgeben, die jedoch nicht schwarz sind, sondern stets prismatische Farben zeigen. Indem diese Linien theilweise mit den benachbarten zusammenfliessen, bekommt das Ganze ein solches Aussehen, als ob es Kügelchen oder zahlreiche in einander geschlungene Fasern oder Röhrchen wären. Auch bei künstlichem Lichte, das nicht vorher diffus gemacht und zu sehr concentrirt wurde, nimmt man, wenngleich in schwächerem Grade, eine derartige Erscheinung wahr. Bekanntlich ist von älteren Mikroskopikern die wirkliche Existenz dieser scheinbaren Kügelchen, Fasern und Röhrchen behauptet worden. Hält man die Regel fest, niemals Objecte dadurch durchscheinend machen zu wollen, dass man sehr starkes Licht durchfallen lässt, und vermeidet man namentlich das directe Sonnenlicht, dann ist man derartigen Irrthümern nicht ausgesetzt.

284 Gehen wir jetzt zu einer anderen Eigenthümlichkeit der mikroskopischen Beobachtung über, die dem Anfänger das Deuten der Gesichtseindrücke etwas erschwert, während sie für den Geübten ein wichtiges Hülfsmittel ist, um das Gefüge der mikroskopischen Objecte zu erkennen: ich meine nämlich den Umstand, dass man durch das Mikroskop nur Flächen, aber keine Körper deutlich sieht.

Streng genommen ist diese Eigenthümlichkeit mehr die Folge einer

quantitativen als einer qualitativen Verschiedenheit zwischen dem Sehen mit blossem Auge und dem mikroskopischen Sehen: auch das Auge sieht blos solche Objecte, welche sich in vollkommen gleicher Entfernung von demselben befinden, also in Einer Fläche gelegen sind, in dem nämlichen Augenblicke vollkommen deutlich; denn für jede andere Entfernung wird ein verschiedenartiger Accommodationszustand erfordert, und von Objecten, deren Abstände nicht dem jeweiligen Accommodationszustande entsprechen, entstehen blos Diffusionsbilder auf der Netzhaut. Ist übrigens die Ungleichheit der Abstände nicht sehr gross, dann wird der Unterschied in der Schärfe der Netzhautbilder ein ganz unmerklicher, und das um so mehr, je fernsichtiger Jemand ist. Ein Myope oder auch ein Presbyope, der durch eine Brille mit convexen Gläsern sieht, wird einen etwas grösseren Gegenstand, z. B. ein theils von vorn, theils von der Seite gesehenes Haus schon nicht mehr als Ganzes überall gleich deutlich erkennen. Diese Grösse der Objecte nun, deren körperliche Form noch deutlich erkannt werden kann, nimmt im geraden Verhältniss ab mit der Sehweite des Auges, oder, was hier auf das Nämliche hinausläuft, mit dem Sehen durch stärker vergrössernde Linsen. Die Entfernung, worin zwei Objecte sich befinden müssen, wenn beide noch gut gesehen werden sollen, wird deshalb immer kleiner und kleiner und das Gesichtsfeld nähert sich mehr und mehr einer wahren Fläche, in dem Maasse als eine stärkere Vergrösserung in Anwendung kommt.

Hieraus ergeben sich einige nicht unwichtige Folgerungen. Es ist nämlich klar, dass bei verschiedenen Vergrösserungen das Object keineswegs immer in gleicher Weise, nur mehr oder weniger vergrössert gesehen wird. Wirklich schaut man es auch anders. Wird z. B. bei schwacher Vergrösserung ein organisches Gewebe betrachtet, das aus mehreren durch einander hindurchschimmernden Schichten besteht, so kann man in dem nämlichen Momente alle diese Schichten in ihrer relativen Lage übersehen, wenn auch nicht alle mit gleicher Deutlichkeit; bei starker Vergrösserung dagegen lässt sich nur Eine Schicht übersehen, und es werden bei veränderter Entfernung des Objects abwechselnd die tieferen oder höheren Schichten der Wahrnehmung entrückt.

Wir lernen hierdurch aus der Anwendung starker Vergrösserungen noch einen anderen Vortheil ziehen, als denjenigen, der in der Vergrösserung an und für sich gelegen ist. Wir zerlegen ein Object dadurch gleichsam in mehrere Schichten, die, wenn sie alle durch einander hindurchschimmern, einen verwirrten Gesichtseindruck hervorbringen, wenn sie dagegen einzeln und successiv übersehen werden, sich deutlich unterscheiden lassen. Wir können ferner dadurch erkennen, ob ein Object sich auf oder in einem andern oder unter demselben befindet; wird aber die auf- und niedersteigende Bewegung mittelst einer feinen Schraube ausgeführt, die mit einer Scala versehen ist, dann lässt sich mit deren Hülfe sogar ziemlich genau die Dicke oder die senkrechte Entfernung der Objecte im Gesichtsfelde bestimmen.

Ueberall hingegen, wo es auf ein Erkennen der stereometrischen Form der Objecte ankommt und diese nicht zu den ganz kleinen gehören, verdienen schwache Vergrösserungen den Vorzug. Wenn es sich z. B. um die Form mikroskopischer Krystalle handelt, so verdienen die schwächsten Vergrösserungen stets den Vorzug, bei denen Flächen, Winkel und Ecken sich deutlich erkennen lassen.

285 Erhöhungen und Vertiefungen lassen sich nicht immer gleich auf den ersten Blick durchs Mikroskop unterscheiden, vielmehr kann hierbei sehr leicht eine Sinnestäuschung oder richtiger eine Irrung des Verstandes unterlaufen, so dass eine Erhöhung für eine Vertiefung gehalten wird oder umgekehrt. Es kann bei durchfallendem wie bei auffallendem Lichte vorkommen und wird dadurch veranlasst, dass eine Erhöhung sowohl wie eine Vertiefung sich durch einen Schlagschatten zu erkennen giebt, der sogar in beiden Fällen vollkommen gleich sein kann. Beim Sehen mit blossem Auge wird in einem solchen Falle, ohne dass wir uns in der Regel dessen bewusst sind, aus der Richtung des Schattens im Verhältniss zu jenem des Lichts, unter welchem der Gegenstand steht, der Schluss gezogen, dass es entweder eine Vertiefung oder eine Erhöhung sein muss, wodurch der Schatten erzeugt wird. Beim mikroskopischen Sehen dagegen fehlt uns dieser Maassstab mehr oder weniger, und so kommt es, dass man das nämliche Object jetzt erhaben und dann wieder vertieft zu sehen glaubt, und beim zusammengesetzten Mikroskope entsteht diese Täuschung um so leichter, weil das ganze Bild hier verkehrt erscheint, die Schatten also auch gerade in entgegengesetzter Richtung fallen, d. h. bei einer Erhöhung der Lichtquelle zugewendet, bei einer Vertiefung dagegen von der Lichtquelle abgewendet sind.

Hält man indessen dieses fest, dann braucht man vor dieser Täuschung keine Sorge mehr zu haben, da man die Sache in den meisten Fällen augenblicklich übersieht, wenn man in dem Abstande des Objects eine Veränderung eintreten lässt, es müsste denn die Erhöhung oder die Vertiefung ganz unbedeutend sein, wo es nöthig werden kann, das Object in einer Richtung zu betrachten, die senkrecht zu der früheren ist. So erkennt man z. B. die napfförmige Vertiefung der Blutkörperchen augenblicklich, sobald man auf deren Rand sieht. Die Tüpfelchen auf vielen verholzten Zellen, die nichts sind als kleine Vertiefungen oder verdünnte Stellen der Zellwand, lassen sich auf den ersten Blick nicht wohl unterscheiden von ähnlichen Tüpfeln an vielen Pflanzenhaaren, wo es kleine Höckerchen sind. Sobald man indessen die ersteren auf einem senkrechten Durchschnitte der Zellwand und die letzteren am Rande der Haare zur Beobachtung bekommt, fällt jeder Zweifel über ihre wahre Natur dahin.

286 Auch die Färbung der Objecte erleidet beim mikroskopischen Sehen einige Veränderungen, die nicht unerwähnt bleiben dürfen. Es ist schon weiter oben (S. 274) darauf hingewiesen worden, dass bei manchen

Mikroskopen die Bilder im Gesichtsfelde eine eigenthümliche Färbung annehmen, die man nicht mit der wahren dem Objecte zukommenden Färbung verwechseln darf. Sodann darf man auch bei der Beurtheilung der Farben nicht aus dem Auge verlieren, ob die Beobachtung bei auffallendem oder bei durchfallendem Lichte stattfindet, was beim gewöhnlichen Sehen nur selten in Betracht kommt, weil hier die Objecte fast immer vollständig oder doch zum Theil durch auffallendes Licht beleuchtet sind, wodurch die Färbung bestimmt wird. Bekanntlich giebt es aber mehrere Substanzen, die eine andere Färbung zeigen, je nachdem sie das Licht reflectiren oder durchgehen lassen. Oftmals, jedoch nicht ohne Ausnahme, sind diese Farben complementäre. So finden wir es auch bei manchen Flügelschüppchen von Schmetterlingen (*Morpho Menelaus*, *Lycaena Argus*), die bei auffallendem Lichte blau, bei durchfallendem Lichte gelb erscheinen, während dagegen andere (*Papilio Ulysses*) im durchfallenden Lichte roth sind. So besitzen auch manche thierische Gewebe, die unter gewöhnlichen Umständen mit weisslicher oder gelblichweisser Färbung sich darstellen, eine bräunliche Farbe (recht auffallend z. B. das Zahnemail) oder bisweilen auch einen grünlichen Teint, wenn sie bei durchfallendem Lichte durchs Mikroskop betrachtet werden.

Manche Objecte sind bei durchfallendem Lichte sehr lebhaft gefärbt, gelb, grün, roth, blau, und zwar durch Interferenz der Lichtstrahlen. Im Besondern kommt dies bei solchen vor, die, gleich den meisten Diatomeenschalen, an ihrer Oberfläche dicht bei einander stehende Streifen, Pünktchen und andere feine Zeichnungen besitzen. Diese Färbungen treten am stärksten hervor bei schwachen Vergrösserungen und sie verschwinden vollständig, sobald man das Object bei auffallendem Lichte betrachtet.

Die Vergrösserung übt ferner noch einen eigenthümlichen Einfluss aus. Sie treibt nämlich die gefärbten Theile gleichsam aus einander, und wirkt somit ähnlich wie Wasser, womit eine gefärbte Flüssigkeit verdünnt wird. Blutkörperchen z. B. haben bei schwacher Vergrösserung eine entschieden rothe Farbe, werden aber bei starker Vergrösserung so blass, dass man, diesen Einfluss aus den Augen lassend, sie leicht für farblos halten könnte. Die gelbe Farbe der Xanthoproteinsäure, welche entsteht, wenn Salpetersäure auf Proteinsubstanzen einwirkt, wird auch besser bei einer schwachen Vergrösserung erkannt als bei einer starken.

Ich will noch bemerken, dass die Farben im Allgemeinen weniger gut zu unterscheiden sind bei durchfallendem Lichte, welches auf die gewöhnliche Weise durch Reflexion des hellen Himmels vom Spiegel erhalten wird, als wenn man den Spiegel mit einem weissen Papiere oder einer Gypsplatte bedeckt und auf diese die Sonnenstrahlen fallen lässt.

Auf eine ganz besondere Weise macht sich die Wirkung der Vergrösserung bei der Färbung dünner Schichten bemerkbar. An einer Glasplatte, deren Oberfläche nur eben oxydirt ist, bemerkt man unterm Mikroskope bei auffallendem Lichte ganz schillernde Farben. Sehr schön

tritt dieser Einfluss auch hervor, sobald auf einen Wassertropfen, der sich auf der Objecttafel befindet, mittelst einer Nadelspitze ein klein wenig Terpentinöl gebracht wird. Das Terpentinöl breitet sich über den Tropfen aus, und wenn auch mit blossem Auge noch keine Spur von Färbung zu entdecken ist, so zeigen sich doch unterm Mikroskope bei auffallendem Lichte die lebhaftesten Farbennüancen in einem beständigen Wechsel und in anhaltender Bewegung, in Folge der Verdunstung des Terpentinöls.

287 In dem Maasse, als die Vergrösserung wächst, steigern sich auch alle Bewegungen, zwar nicht in der Weise, dass sie innerhalb einer gewissen Zeit rascher auf einander folgten, aber so, dass die Bewegung sich über eine grössere Strecke verbreitet und dadurch augenfälliger wird. Mikroskopische Beobachter, die in einer durch Wagen befahrenen Strasse wohnen, erfahren dies öfters auf eine sehr störende Weise, indem die Erschütterung sich bereits im Gesichtsfelde des Mikroskops kund giebt, wenn der Wagen auch noch ziemlich entfernt ist, und dann noch länger anhält, nachdem er schon vorüber ist. Hier ist nichts anders zu thun, als dass ein zu mikroskopischen Untersuchungen besser geeignetes Zimmer gesucht wird. Es theilen sich aber auch die Erschütterungen des Bodens dem Tische mit, worauf das Instrument steht, und diese Störung kann man dadurch beseitigen, dass man den Tisch an die Wand anlehnt, oder dass man ihn auf eine Unterlage stellt, die mit dem übrigen Boden ausser Berührung ist.

Neben den von aussen herbeigeführten Bewegungen kommen aber auch noch die Bewegungen der Objecte in Betracht, die man durchs Mikroskop sieht. Bei zunehmender Vergrösserung werden dieselben ebenfalls beschleunigt, und hier findet der so eben gemachte Unterschied zwischen Beschleunigung in der Zeit und Beschleunigung im Raume seine Anwendung. Die paar Millimeter zum Beispiel, welche ein Infusorium in einer Secunde zurücklegt, werden durch eine tausendmalige Vergrösserung in eben so viele Meter umgewandelt, und da der Durchmesser des Gesichtsfeldes immer nur einen sehr kleinen Theil jenes Weges darstellt, so ist der Zeitraum, während dessen das Thier sich darin befindet, ein so kurzer, dass kein nur etwas genauerer Gesichtseindruck möglich ist. Deshalb ist man genöthigt, entweder nur kleinere Vergrösserungen anzuwenden, oder die Bewegungen des Thieres zu beschränken, was am füglichsten durch einen leichten Druck mittelst eines Deckplättchens geschieht, oder noch besser mittelst des Compressoriums.

Anders verhält es sich mit den ganz kleinen und periodisch auf einander folgenden Bewegungen, z. B. mit jenen der Cilien. Die von der Bewegung durchlaufene Strecke nimmt ebenfalls mit der Vergrösserung zu, ohne dass jedoch die Wahrnehmbarkeit dadurch beeinträchtigt wird, weil die Cilien immer im Gesichtsfelde bleiben. Sind die sich bewegenden Härchen nicht bei einer starken Vergrösserung sichtbar, dann sind

sie es sicherlich auch nicht bei einer schwächern, die gleiche Schärfe nämlich bei beiden vorausgesetzt. Der Grund, weshalb man die sich bewegenden Theilchen nicht sieht, was auch ebenso mit den schnell bewegten Blutkörperchen in den Haargefässen der Fall ist, liegt darin, dass die einzelnen Gesichtseindrücke zu rasch auf einander folgen, worüber §. 100 zu vergleichen ist. Es wäre zu wünschen, dass man, ohne die Bewegung selbst zu vermindern, deren Beobachtung dergestalt einrichten könnte, dass der empfangene Eindruck festgehalten, der nachfolgende aber nicht dadurch gestört würde. In einem spätern Abschnitte wird es sich zeigen, in wie weit dieses Ziel erreichbar ist.

Ich will hier noch auf ein paar Bewegungen aufmerksam machen, 288
die den wenig Geübten leicht täuschen können, insofern er ihre Veranlassung wo anders sucht.

Dahin gehören die Bewegungen, welche durch Vermengung zweier ungleichartiger Flüssigkeiten entstehen, zumal wenn eine davon sehr flüchtig ist, wenn also z. B. Alkohol oder Aether dem Wasser zugesetzt werden. Alle kleinen Körperchen, die sich in einer der beiden Flüssigkeiten befinden, werden alsdann in starke Bewegung versetzt; es entstehen aber niemals regelmässige Strömungen, sondern es kommt nur mehr zu kleinen, rasch auf einander folgenden Stössen. Erfolgt die Bewegung in sehr kleinem Raume, hat man z. B. dem Durchschnitte eines mit Wasser befeuchteten Pflanzengewebes Jodtinctur zugesetzt und einige von den präcipitirten Jodkrystallen sind in eine angeschnittene Zellhöhle gelangt, dann kommt es zu einer ungemein raschen Bewegung, das Theilchen wird von einer Wandung zur andern geschleudert und es hält dieser Tanz so lange an, bis die Vermischung der beiden Flüssigkeiten vollständig erfolgt oder bis der flüchtige Bestandtheil ganz verdunstet ist.

Noch auffallender sind die drehenden Bewegungen kleiner Körperchen, die in einem nach bestimmten Verhältnissen bewirkten Gemenge von Wasser und Alkohol in der Nähe von Luftbläschen sich befinden. Solche drehende Bewegungen können unter einem Deckplättchen, selbst wenn durch Oel an den Rändern alle Verdunstung behindert ist, stundenlang anhalten. (E. H. Weber in Poggendorff's Annal. Bd. XCIV, S. 447, und Harting ebend. Bd. XCVII, S. 51.)

Bei der Untersuchung schleimiger Substanzen begegnet es nicht selten, dass sich dieselben unter einem Deckplättchen in flüssigere und weniger flüssige Elemente theilen und die ersteren nun zwischen den aus halbflüssiger Substanz bestehenden Inseln Strömungen bilden. Eine solche Strömung hält oftmals längere Zeit an, auch wenn das Objecttäfelchen ganz horizontal liegt, weil die schleimige Substanz dem Drucke des Deckplättchens einigen Widerstand leistet, allmälig aber sich doch mehr ausbreitet und dadurch die Strömung unterhält.

Endlich giebt es noch eine Art von Bewegung, die nur an sehr kleinen Körperchen beobachtet wird und deshalb nur unterm Mikroskope wahrnehmbar ist, nämlich die sogenannte Molekularbewegung. Wer mikroskopische Untersuchungen beabsichtigt, der sollte sich bald mit dieser Erscheinung bekannt machen, denn die Erfahrung hat gelehrt, dass schon manche sich dadurch haben irre führen lassen und eine eigenthümliche organische Bewegung darin erkannten, während sie doch bei allen sehr kleinen Körperchen, organischen wie anorganischen, vorkommt, und als eine allgemeine Eigenschaft der Materie anzusehen ist. Ueber die eigentliche Ursache der Erscheinung will ich mich hier nicht weiter auslassen; folgende Thatsachen glaube ich indessen nicht unerwähnt lassen zu dürfen.

Erstens ist die von vielen getheilte Ansicht, als rührte diese Bewegung von einer Verdunstung her, durchaus unbegründet, denn es dauert dieselbe fort, wenn auch jegliche Verdunstung abgeschnitten ist. Mehrfach sah ich diese Molekularbewegung noch nach Monaten unverändert fortbestehen, wenn die Flüssigkeit mit den kleinen Molekeln zwischen zwei Glasplättchen sich befand, die auf später anzugebende Weise unter einander verkittet waren. Schwieriger fällt es, mit Sicherheit auszumachen, ob sie auch durch Strömungen in der Flüssigkeit hervorgebracht wird, die von einer verschiedenartigen Temperatur ihrer verschiedenen Theile ausgehen. Indessen halte ich dies für sehr unwahrscheinlich, weil dann doch früher oder später Gleichgewicht und Ruhe eintreten müssten. Auch entstehen durch absichtlich zugeführte höhere Temperatur in der Flüssigkeit zwar Strömungen, wodurch ganze Gruppen von Molekeln fortgerissen werden, ohne dass jedoch in der eigentlichen Molekularbewegung irgend eine Veränderung sich kundgiebt.

Zweitens ist die Stärke und die Dauer dieser Bewegung ebensowohl vom absoluten Gewichte der Körperchen selbst, als vom specifischen Gewichte der sie zusammensetzenden Substanz abhängig. Von der nämlichen Substanz bewegen sich die kleinsten Körperchen am stärksten und am längsten, und nur bei jenen, deren specifisches Gewicht ziemlich mit jenem der Flüssigkeit übereinstimmt, worin sie sich befinden, kann die Bewegung Monate lang anhalten; denn sie hört auf, sobald die Körperchen auf das Glastäfelchen gesunken sind. Bei Körperchen von grösserem specifischen Gewichte, wohin die meisten metallischen Niederschläge gehören, hält die Bewegung immer nur kürzere Zeit an, ja oftmals gewahrt man gar keine Bewegung, wenngleich die Körperchen selbst ganz klein sind.

Drittens übt die Form der Körperchen gar keinen Einfluss auf die Bewegung. Dieselbe kommt ebensowohl bei runden Fettkügelchen und Pigmentkörnchen vor, als bei kleinen Krystallen und bei den unregelmässig geformten Kohlentheilchen verbrannter pflanzlicher Körper. In eigenthümlicher Weise sieht man diese Bewegung z. B. an den platten, nadelförmigen, kleinen Krystallen, aus denen der metallglänzende Ueber-

zug an der Iris der Fische und an anderen Theilen besteht. Diese Krystallchen sind so durchsichtig und dünn, dass sie nur bei starker und scharfer Vergrösserung mit durchfallendem Lichte erkennbar sind. Betrachtet man aber den Tropfen Wasser, worin sie schweben, bei auffallendem Lichte, dann bemerkt man schon bei sehr schwacher Vergrösserung ein anhaltendes Flimmern wie von gelben, grünen oder rothen Fünkchen, welche durch Reflexion von der Oberfläche dieser kleinen, in beständiger Bewegung befindlichen Krystalle entstehen.

Schliesslich muss ich noch die allgemein gültige Warnung ausspre- 289
chen, dass bei der Deutung der im Mikroskope beobachteten Bewegungen Vorsicht beobachtet werde. Viele Beobachter, darunter auch ganz ausgezeichnete, sind nur zu geneigt, jede augenscheinlich selbstständige Bewegung als eine thierische zu betrachten. Es kommt dies daher, dass man sich nicht von der Idee frei machen kann, welche von der ersten Jugend an durch die unbewaffneten Sinnesorgane Eingang gefunden hat, Ruhe sei der charakteristische Zustand aller unorganischen Körper sowie der Pflanzen, so lange sie nicht von aussen einwirkenden Kräften unterliegen, dem Thierreiche dagegen gehörten die Körper an, welche durch innere inwohnende Kräfte in andauernde Bewegung versetzt werden. Da es aber im strengen Sinne des Worts keinen absolut todten Körper giebt, in dem gar keine inneren Kräfte, wenn auch nur in sehr geringem Grade, wirkten, so ist die absolute Ruhe eine Unmöglichkeit; es ist daher auch nicht zu verwundern, wenn wir mittelst der bewaffneten Sinnesorgane dort Bewegung entdecken, wo wir dergleichen früher gar nicht vermuthen durften. Für die sogenannte anorganische Substanz bietet uns die Molekularbewegung ein Beispiel. Bei den Pflanzen gehört die innere Bewegung nicht minder zu den Bedingungen ihrer Existenz, als bei den Thieren. Sobald die Umwandelung und der Umtausch der Bestandtheile, die Bewegung der Säfte innerhalb der einzelnen Zelle sowie von einer Zelle zur andern aufhören, stirbt der Pflanzentheil ab. Auch ist es hinlänglich bekannt, dass bei Pflanzen noch andere Bewegungen vorkommen, die von besonderen Ursachen abhängig sind und mit den allgemeinen Lebenserscheinungen in keinem nothwendigen Zusammenhange stehen. Zudem ist durch Untersuchungen dargethan worden, dass den Pflanzen das Vermögen der Ortsbewegung auch nicht durchaus abgeht. Die Sporidien vieler Algen schwimmen ganz auf die nämliche Weise im Wasser herum, als die zu den Thieren gerechneten Monaden, und sie haben die nämlichen Bewegungsorgane wie diese, nämlich Cilien.

Ein charakteristisches Merkmal der thierischen Bewegung, wodurch jeder Beobachter Pflanze und Thier von einander zu unterscheiden vermöchte, lässt sich meines Erachtens nicht aufstellen. Zwar werden nur wenige, die z. B. die ungemein kleinen, nur bei starker Vergrösserung sichtbaren Vibrionen in eiweisshaltigen Flüssigkeiten sehen, ein Beden-

ken tragen, dieselben für Thierchen zu erklären, wenn auch deren Kleinheit nicht erlaubt, etwas von inneren Organen darin wahrzunehmen. Wir müssen aber eingestehen, dass es sich hierbei weniger um eine wissenschaftliche als um eine moralische Ueberzeugung handelt: allen Thieren schreiben wir einen Willen zu, und in den beobachteten Bewegungen glauben wir die Aeusserungen dieses Willens zu erkennen. Wie unsicher hier jede Definition wird und wie dieselbe ganz von der subjectiven Auffassung des Beobachters abhängig ist, braucht kaum erinnert zu werden. Ueberdies giebt es zahllose Fälle, wo man in einem vollständigen Zweifel bleibt, der sich auch mit Benutzung aller übrigen Unterscheidungszeichen nicht lösen lässt. Da ist es deshalb immer besser, ein bestimmtes Urtheil zurückzuhalten, statt sich positiv über die vegetabilische oder animalische Natur solcher Körper auszusprechen. Vielleicht wird es sich später klar erweisen, dass es keine eigentlichen Grenzen zwischen den beiden grossen Abtheilungen giebt, welche in der organischen Natur, und zwar hauptsächlich nach der Beobachtung mit blossem Auge, angenommen zu werden pflegen.

Sobald das Mikroskop zur Hand genommen wird, muss man nicht nur gewärtig sein, viele Dinge in anderer Weise und unter anderen Umständen zu sehen, als man es mit blossem Auge gewohnt ist, sondern auch darauf vorbereitet sein, dass alles, was bei einem beschränkteren Gesichtskreise bisher als unumstössliche Wahrheit gegolten hat, in dem Maasse, als dieser Gesichtskreis sich erweitert und eine grössere Anzahl Objecte umfasst, als Vorurtheil und Irrthum sich herausstellt.

Dritter Abschnitt.

Zubereitung der mikroskopischen Objecte.

Nur wenige Dinge lassen sich ohne alle vorgängige Zubereitung unterm Mikroskope untersuchen; die meisten sind dazu entweder nicht durchsichtig genug, oder zu gross, oder zu beweglich. Es muss daher der undurchsichtige Körper in den durchsichtigen Zustand übergeführt werden, den grossen Körper darf man blos in seinen Theilen untersuchen, und die zu rasche Bewegung mancher Körper muss beschränkt werden, damit sie gehörig beobachtet werden können. Auch werden manche Objecte oder deren Theile nur dadurch sichtbar, dass man dieselben auf besondere Weise behandelt, indem man sie entweder mechanischen oder chemischen Einflüssen aussetzt, oder indem man ihre Wahrnehmbarkeit auf andere Weise erhöht; die feineren Gefässe z. B. füllt man mit leicht erkennbaren Substanzen an. 290

Es soll nun in diesem Abschnitte möglichst genaue Anweisung gegeben werden, wie der mikroskopische Beobachter je nach der Verschiedenheit der Umstände und der Fälle handeln kann, wenn er den Zweck seiner Untersuchung auf die sicherste und leichteste Weise erreichen will. Nur erwarte man nicht Vorschriften zu finden für alle nur möglichen Fälle, die während der Untersuchung eintreten können; auch erwarte man nicht eine Beschreibung aller Instrumente, die nur irgend für besondere Untersuchungen ausgedacht worden sind. Auch die ausführlichste Beschreibung der anzuwendenden Methoden muss immer ungenügend bleiben, da sich unmöglich alle verschiedenen Umstände voraussehen lassen, die bei mikroskopischen Untersuchungen der verschiedensten Art vorkommen können. Wenn aber auch jemand bei seinem Mikroskope alle Apparate besässe, welche jemals zum Behufe einzelner Untersuchungen angefertigt worden sind, er würde doch noch die Erfahrung machen,

dass sie für alle vorkommenden Fälle nicht ausreichen. Wenn irgend wo, so findet hier das bekannte Wort von Franklin Anwendung, ein Naturforscher müsse mit dem Bohrer sägen können, mit der Säge aber bohren. Beim Abfassen der nachfolgenden Anweisungen stelle ich mir daher auch am liebsten solche vor, deren Mikroskop eine ganz einfache Einrichtung besitzt und nur mit dem allernöthigsten zu Untersuchungen erforderlichen Apparate ausgestattet ist. Eine genauere Beschreibung verschiedener Instrumente nebst Anweisung ihres Gebrauchs zu den bestimmten Zwecken, welche ihre Erfinder angegeben haben, wird im dritten Buche vorkommen. Hier ist es vorzüglich meine Aufgabe, nachzuweisen, wie dergleichen Instrumente entbehrlich werden können. Der verständige Leser wird aber selbst das Fehlende ausfüllen.

291 Zuvörderst kommt die Beschaffenheit und die Einrichtung des Zimmers in Betracht, wodurch sich dasselbe zum Anfertigen von Präparaten und zur Vornahme mikroskopischer Beobachtungen eignet. Eigentlich kann jedes Zimmer mit einem Fenster, das nach dem Freien gerichtet ist, dazu benutzt werden. Hat man indessen die Wahl zwischen verschiedenen Zimmern oder bei der Herstellung eines im Besondern zu mikroskopischen Untersuchungen bestimmten Observatoriums, dann können folgende Principien maassgebend sein, und zwar aus den zum Theil schon früher (§. 211 und 283) entwickelten Gründen.

Am besten ist es, wenn das Zimmer auf zwei Seiten ein Fenster oder ein Paar Fenster besitzt, die nach Norden und nach Süden gerichtet sind. Sind die Fenster nur nach Einer Seite, dann verdient die Richtung nach Süden den Vorzug, und durch passend angebrachte Schirme muss dafür gesorgt werden, dass das Sonnenlicht von aussen abgehalten wird, da wo dasselbe hinderlich sein könnte.

Die Wände des Zimmers sind am besten weiss; für die Tische dagegen, auf denen gearbeitet wird, verdient die schwarze Farbe den Vorzug.

Das Zimmer muss ferner eine solche Lage haben, dass die Wände und der Boden so wenig als möglich durch vorübergehende Wägen erschüttert werden. Deshalb vermeidet man ein Zimmer nach einer stark besuchten Strasse und wählt lieber ein solches, dessen Fenster auf einen Garten gehen.

Um jeder Erschütterung vorzubeugen, ist es daher gut, wenn die zum Tragen der Mikroskope bestimmten Tische entweder an die Wand befestigt sind, oder aber mit den Füssen auf besonderen Stützen ruhen, die mit dem übrigen Boden nicht verbunden sind, wie es in Fig. 124 dargestellt ist. Das ist namentlich wünschenswerth in einem Zimmer, welches zu mikroskopischen Demonstrationen benutzt wird.

Um den bei mikroskopischen Untersuchungen oftmals sehr hinderlichen in der Luft schwebenden Staub möglichst zu verhüten, sollte die Decke mit Leinwand überzogen, der Boden aber nicht mit einem Tep-

piche bedeckt, sondern aus gut schliessenden Brettern geformt und dabei dunkel gefärbt sein, weil es dann leichter ist, ein kleines Object, welches durch Zufall auf den Boden fiel, wieder zu finden.

Die Heizung des Zimmers sollte, wo es möglich ist, durch Röhren geschehen, in welche Luft oder erwärmtes Wasser geleitet wird, wobei dann das eigentliche Heizungslocal sich ausserhalb befindet. Denn wenn die Heizung auf gewöhnliche Weise durch Oefen oder Kamine stattfindet, so schweben in der Luft des Zimmers immer viele Aschen- und Kohlentheilchen.

Was die Grösse des Zimmers, die Zahl der Tische u. s. w. anlangt, so kommt natürlich die nähere Bestimmung in Betracht, ob dasselbe nur für eine einzelne Person oder ob es zu öffentlichen Demonstrationen bestimmt ist. Da im letzteren Falle von Zeit zu Zeit auch das Bildmikroskop in Anwendung kommt, so muss die Wand vier bis fünf Meter vom gegenüberliegenden Fenster entfernt sein, damit der Schirm in die gehörige Entfernung kommen kann; natürlich muss dann auch die Breite des Zimmers dem erleuchteten Felde auf dem Schirme entsprechen. Für eine einzelne Person dagegen ist das kleinste Zimmerchen ausreichend, wo ein Tisch, ein Stuhl und ein Kasten für die nöthigen Geräthschaften Platz haben.

Vortheilhaft ist es, wenn man einen kleinen Tisch ausdrücklich zur Anfertigung von Präparaten sich einrichtet. Seit mehreren Jahren bediene ich mich eines solchen mit Vortheil, mit einer Einrichtung, wie sie in Fig. 124 (s. folg. S.) dargestellt ist. Er ist länglich viereckig, hat in der Richtung *ab* eine Breite von 0,8 Meter und misst 0,6 Meter in der Richtung *ac*. Eine zweite Platte *d* befindet sich 0,45 Meter unterhalb der oberen; dieselbe ist an den vier Füssen des Tisches befestigt und trägt in der Mitte einen Spiegel *e* von 0,20 Meter Durchmesser, der wie ein gewöhnlicher Mikroskopspiegel sich in einem Bügel bewegt und nach allen Richtungen gedreht werden kann. Der Stab, worauf der Bügel ruht, hat unten eine Schraube, wodurch er dergestalt an das zweite Tischblatt befestigt ist, dass der Spiegel sich bequem wie um eine Axe drehen kann und nach Willkür sich auch ganz wegnehmen lässt, sobald nämlich an die Stelle des Spiegels ein Mikroskop kommen soll, welches auf später anzugebende Weise als Sonnenmikroskop benutzt wird, um damit photographische Abbildungen zu zeichnen. Damit das Licht auf den Spiegel fällt, wird das Stück *n* im oberen Tischblatte, dem Sitze des Beobachters gegenüber, weggenommen. In der Mitte des oberen Tischblattes, gerade oberhalb des Spiegels, ist eine viereckige Oeffnung von 0,15 Meter Länge angebracht. In diese Oeffnung kann ein gleich grosser und 3 Centimeter tiefer Trog eingesetzt werden, der auf einem Falze ruht, mit Seitenwänden von Blech und einem Boden von dickem Spiegelglas. Es ist dieser kleine Trog zu Zergliederungen bestimmt, die am besten unter Wasser vorgenommen werden, und wozu der unten stehende Spiegel das nöthige durchfallende Licht gewährt. Sonst kann

statt des kleinen Trogs ein Stück dickes Spiegelglas oder eine hölzerne Platte, die gleich dem ganzen Tische schwarz gefärbt ist, in die Oeffnung

Fig. 124.



Harting's Präparirtisch.

eingelegt werden, so dass deren Oberfläche mit dem übrigen Tischblatte im gleichen Niveau ist. Darauf können mehrere Ringe zu liegen kommen von 4 bis 8 Centimeter Durchmesser, die mit einem Spiegelglase bedeckt werden, oder in die man Uhrgläser von verschiedener Grösse bringt, um Objecte hinein zu thun. Es können diese Ringe aus Blech bestehen; oben haben sie einen umgeschlagenen Rand, und von unten her ist der Rand doppelt, auch wohl zu grösserer Festigkeit mit Blei gefüllt. Ein solcher Ring ist unter *q* abgebildet. Zur Seite der Oeffnung können dann mehrere Lupenträger kommen, die entweder in dafür bestimmten Oeffnungen stehen, oder die, wie *g*, auf hinlänglich schweren, mit Blei gefüllten Füssen ruhen. Auch kann hier füglich ein bildumkehrendes oder ein anderes zusammengesetztes Mikroskop zu stehen kommen, indem seitlich von der viereckigen Oeffnung eine kupferne Säule *h* mit einem Querarme *i* in die Tafel eingelassen wird, die sich um eine Spindel drehen lässt. Der Querarm ist mit einem Ringe *k* oder mit einer kurzen Röhre versehen, worin das Rohr des Mikroskops *m* auf-

und niedergeschoben werden kann, was hier ganz ausreichend ist, da man nur bei geringen Vergrösserungen davon Gebrauch machen darf. Endlich hat der Tisch noch ein paar Schubfächer *l l*, zum Theil in Fächer abgetheilt, um einige Gläser mit den gebräuchlichsten Reagentien aufzunehmen.

Ich wende mich jetzt zu den Instrumenten, welche zum Seciren 292
bestimmt sind, wobei ich jene übergehe, welche auch zu gröberen Sectionen benutzt werden, weil ich den Leser mit diesen hinlänglich vertraut annehmen darf.

Von schneidenden Instrumenten sind erforderlich:

1. Zwei bis drei kleine Scalpelle von verschiedener Grösse und Form. Jene, deren ich mich bediene, sind Fig. 125 in ihrer wahren Grösse dargestellt und bedürfen keiner besondern Beschreibung.

2. Sehr brauchbar ist ein gebogenes lanzettförmiges Messer, welches Fig. 126 dargestellt ist. Auf der Hohlseite (*A*) ist es ganz eben, auf der convexen Seite (*B*) aber ist es in der Mitte dicker. In *C* sieht man dasselbe vom Rande.

Fig. 125.



Scalpelle.

Fig. 126.



Lanzettförmiges Messer.

3. Ein Rasirmesser mit einer breiten und dünnen Klinge. Da das Rasirmesser sehr häufig in Gebrauch kommt, so ist es gut, mehrere in Bereitschaft zu haben, um das während einer Untersuchung stumpf gewordene Messer mit einem andern vertauschen zu können.

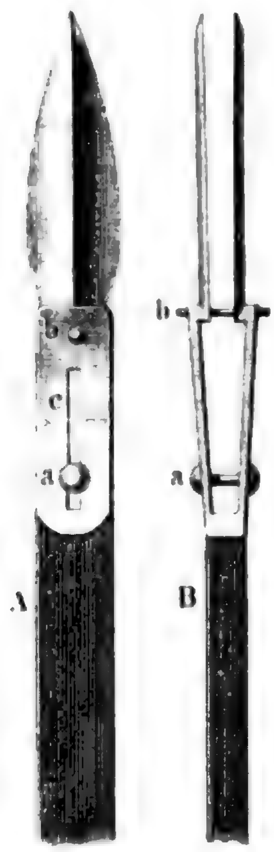
4. Doppelmesser. Valentin's Doppelmesser ist Fig. 127 (s. f. S.) abgebildet, bei *A* von der Seite, bei *B* vom Rande. Es besteht aus zwei doppelschneidigen, mit den ebenen Flächen einander zugekehrten Klingen. Gleich den Blättern einer Schieberpincette können diese Klingen durch den Stift *a*, welcher sich in der Rinne *c* auf- und abschieben lässt, an einander gebracht werden, wobei ein anderer Stift *b*, der an der einen Klinge angenietet ist und in einer entsprechenden Oeffnung der andern gleitet, die Bestimmung hat, beide Klingen in der nämlichen Stellung zu erhalten.

Gerber's Doppelmesser ist Fig. 128 (s. f. S.) dargestellt. Im Wesentlichen stimmt es mit dem vorhergehenden überein. Nur sind die Klingen anders geformt und es fehlt der zuletzt erwähnte Stift daran.

Ich habe mir Doppelmesser mit etwas anderer Einrichtung anfertigen lassen, wie sie Fig. 129 (s. f. S.) dargestellt ist. Die beiden Blätter des

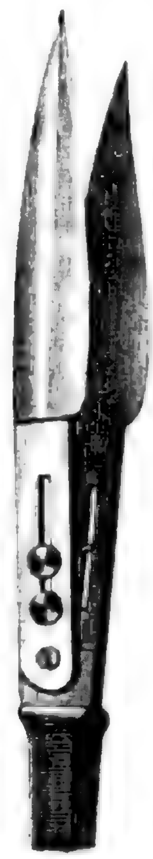
Messers sind gewöhnliche Scalpelklingen und so mit einander vereinigt, dass ihre Schneiden einander immer mehr genähert sind, als die Rücken-

Fig. 127.



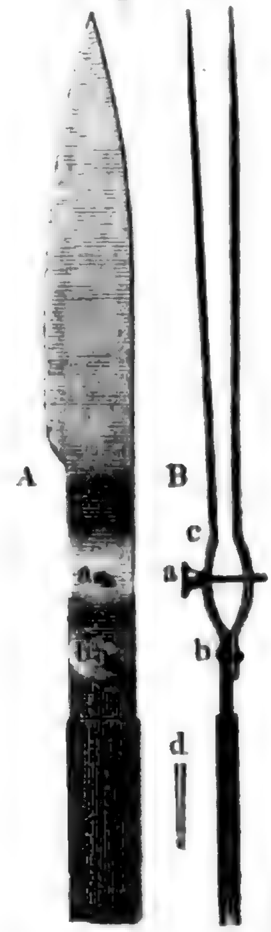
Valentin's Doppelmesser.

Fig. 128.



Gerber's Doppelmesser.

Fig. 129.



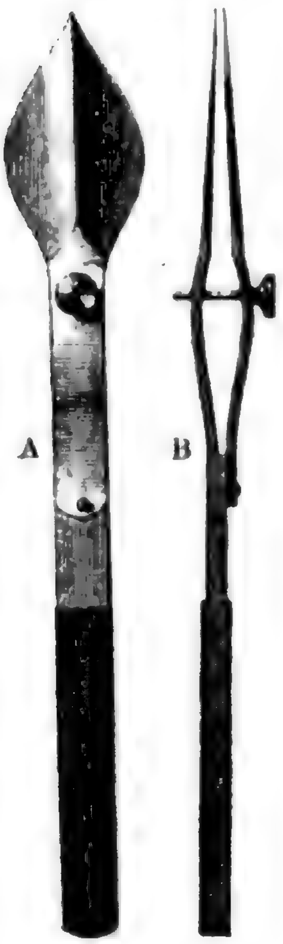
Harting's Doppelmesser.

ränder, wie es in dem Durchschnitte *d* angegeben ist. Das ist ein wichtiger Punkt, worauf beim Anfertigen von Doppelmessern wohl zu achten ist; denn wenn der Abstand für alle Punkte der nämliche ist, dann bleibt bei einem Durchschnitte das abgetrennte Stückchen zwischen den beiden Blättern stecken. Aus dem nämlichen Grunde muss auch das Interstitium beider Klingen an der Spitze grösser sein, als an der Basis, wie es auch in *B* angedeutet ist. Beide Klingen sind bei *c* nach aussen gebogen, und sie werden einander durch eine Schraube *a* genähert. Die eine der beiden Klingen ist mit dem Hefte in fester Verbindung, die zweite kürzere Klinge aber ist mit der ersteren durch eine Schraube *b* verbunden. Wird die Schraube *a* weggenommen, dann kann die kürzere Klinge zur Seite geschlagen werden, und es lassen sich die Klingen gehörig reinigen oder nöthigenfalls auch schleifen.

Zwei andere Instrumente von ähnlicher Art, jedoch von etwas anderer Form und Bestimmung, sind Fig. 130 und Fig. 131 (s. f. S.) dargestellt: in der ersteren eine Art Doppellancette, in der zweiten eine Art Doppelmeisel. Ausser in der Form der Klingen unterscheiden sie sich auch noch darin von Doppelmessern, dass ihre Spitzen sich allmälig einander nähern. Ganz überflüssig erscheint übrigens eine nähere Beschreibung dieser Abbildungen, welche die Instrumente in der halben Grösse darstellen.

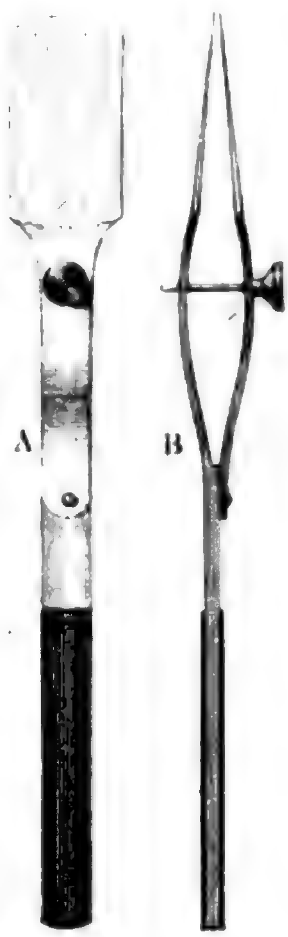
Ueber den Gebrauch dieser Doppelmesser und über die Fälle, wo

Fig. 130.



Doppellancette.

Fig. 131.



Doppelmeisel.

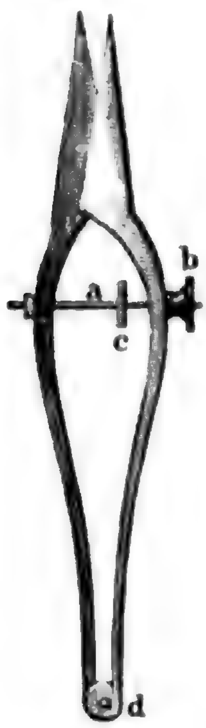
sie mit wahrem Nutzen zu brauchen sind, wird später das Nöthige angeführt werden.

5. Eine oder zwei feine Scheeren. Bei manchen feinen Zergliederungen von Insecten, Mollusken u. s. w. sind dergleichen durchaus nicht zu entbehren. Die Scheere hat den grossen Vorzug vor dem Messer, dass sie die Gewebe durchschneidet, ohne sie zu zerren oder aus der Stelle zu verrücken.

Statt der gewöhnlichen Scheere kann man auch mit Vortheil das von Strauss-Durckheim (*Traité pratique et theorique d'anat. comparative*, 1842, Vol. I, p. 152) beschriebene Mikrotom benutzen, womit man leichter und sicherer in allen Richtungen schneiden kann, als mit einer gewöhnlichen Scheere; denn bei letzterer wird die Haltung der Hand immer mehr oder weniger durch die Haltung der in den Griffen steckenden Finger bestimmt, und ein genaues und festes Schneiden ist deshalb nur in einer bestimmten Anzahl von Richtungen möglich. Unter dem Namen Mikrotom sind auch noch andere Instrumente beschrieben worden, die aber nicht in unmittelbarer Beziehung zur mikroskopischen Untersuchung stehen und von denen erst später die Rede sein wird. Das Mikrotom von Strauss-Durckheim, welches Fig. 132 (s. f. S.) in halber Grösse dargestellt ist, gleicht in der Hauptsache einer gewöhnlichen anatomischen Pincette, deren Blätter aber in zwei kleine Scheerenklingen ausgehen. Ihre Bewegung wird durch eine Schraube *a* geregelt, welche in dem einen Zangenarme der Pincette befestigt ist und durch eine Oeffnung des andern Zangenarmes tritt, wo sich eine Mutter *b* befindet, welche auf die Schraube passt; dadurch kann man, bevor man schneidet, die Distanz der Zangenarme, also den zu durchlaufenden Raum, nach Willkür grösser oder kleiner machen. Um aber auch die Bewegung nach innen, so weit man es wünscht, beschränken zu können, ist an jener Schraube eine zweite Mutter *c* zwischen den beiden Zangenarmen angebracht. Da endlich das Schleifen der Scheere schwer fallen würde, wenn die beiden Zangenarme wie bei einer gewöhnlichen Pincette fest an einander gelö-

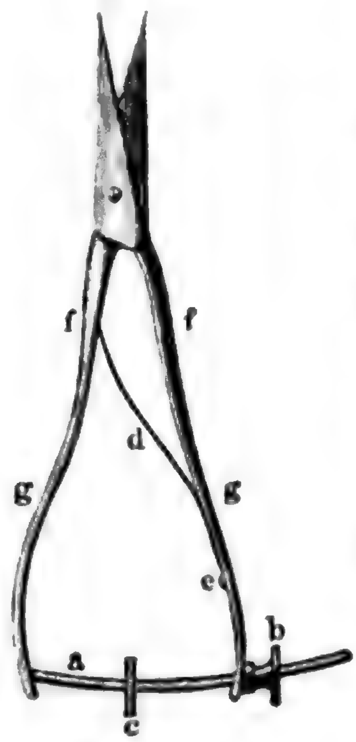
thet wären, so ist die Verbindung durch eine Schraube bei *d* hergestellt, um die Pincette aus einander nehmen zu können.

Fig. 132.



Mikrotom von Strauss-Durckheim.

Fig 133.



Mikrotomische Scheere.

Mit gleichem Vortheile kann man auch die in Fig. 133 in halber Grösse dargestellte Scheere gebrauchen, deren beide Griffe durch eine elastische Feder *d*, die bei *e* an den einen Griff befestigt ist, auseinander gehalten werden. Die Schraube *a* und die beiden Schraubenmuttern *c* und *b* entsprechen durchaus den nämlichen Theilen in Fig. 132. Von *f* bis *g* müssen die Griffe feilenartig rauh sein, um das Rutschen zwischen den Fingern zu verhüten.

Die beiden zuletzt beschriebenen Instrumente werden übrigens wie eine Schreibfeder gefasst.

6. Nadeln, die bei sehr vielen mikroskopischen Untersuchungen ganz unentbehrlich sind. Mit ein paar gewöhnlichen Nähnadeln, die in hölzerne oder beinerne Griffe eingelassen sind, kann man schon viele der wichtigsten Zergliederungen unter dem Mikroskope ausführen. Sechsseitige oder achtseitige Griffe sind den runden vorzuziehen, weil sie weniger zwischen den Fingern rollen. Die Nadeln dürfen nicht zu lang sein, weil dann die Bewegung an Sicherheit verliert. Am besten ist, wie in Fig. 134, eine Länge von 5 bis 6 Centimeter. Für manche Zwecke ist es gut, eine Nadel mit umgebogener Spitze (Fig. 135) zu haben. In anderen Fällen passen Nadeln, die in eine kleine zweischneidige spitzige Klinge (Fig. 136) ausgehen, oder die sich am Ende scalpelförmig (Fig. 137) etwas verbreitern.

Fig. 134, 135, 136, 137.



Nadeln.

Zur Herstellung von Präparaten aus harten Substanzen sind endlich noch erforderlich:

7. eine feine Säge aus einer Uhrfeder;

8. eine oder mehrere Feilen von mässiger Feinheit.

293 Auch ein Wort über das Schärfen oder Schleifen der Messer dürfte hier am Platze sein. Wenn dieselben durch anhaltenden Gebrauch zu

sehr gelitten haben, so versteht es sich von selbst, dass man sie zum Instrumentenmacher schicken muss, der sich auch immer mit dem Schleifen oder Schärfen der Scheeren und Sägen zu befassen hat. Hat sich aber nur die Schärfe eines Messers abgestumpft, dann muss man selbst im Stande sein, diese wieder herzustellen. Das ist anscheinend etwas ganz leichtes, aber nur wenige verstehen es gut. Die meisten schleifen ihre Messer nicht flach, sondern convex, so dass die Schneide zwar scharf, zugleich aber auch keilförmig ist, und dadurch geht der Vortheil einer dünnen platten Klinge verloren, die namentlich beim Anfertigen von Durchschnitten von grosser Bedeutung ist.

Dieses unregelmässige Schleifen hat einen doppelten Grund, zuerst nämlich ein unpassendes Halten des Messers während des Schleifens, wobei richtiger Weise Rücken und Schneide gleichzeitig mit der schleifenden Fläche in Berührung sein müssen, zweitens aber die Benutzung von Wetzsteinen, deren Oberfläche anfangs zwar ganz eben ist, während des Gebrauchs aber mehr und mehr ausgehöhlt wird. Ein Messer, welches auf einer solchen ausgehöhlten Fläche geschliffen wird, muss natürlich immer gewölbt werden.

Man vermeidet diesen Uebelstand, wenn man zur schleifenden Fläche ein Stück Spiegelglas nimmt, das sich nur wenig abnutzt und eintretenden Falls alsbald durch ein anderes ersetzt werden kann. Als Schleifpulver dient aber ein fein geschlemmtes Tripelpulver. Letzteres verschafft man sich dadurch, dass man eine Quantität Tripelpulver in ein ziemlich hohes Cylinderglas thut, Wasser übergiesst, das Gemenge dann gehörig umrührt und einige Augenblicke stehen lässt, bis sich die gröberen Theile gesetzt haben. Dann giesst man die überstehende Flüssigkeit ab, damit sie gesondert sich absetzt; der Niederschlag aber wird getrocknet und in einer gut schliessenden Schachtel vor Staub geschützt. Verfährt man übrigens mit dem Rückstande auf gleiche Weise noch ein oder ein paar Mal, so kann man sich Tripelpulver von verschiedener Feinheit verschaffen. Etwas von dem feinsten Tripelpulver wird aber mit ein paar Tropfen Olivenöl auf die Oberfläche des Spiegelglases ausgebreitet und alsdann wird das Messer unter einem allmälig gesteigerten Drucke, wobei der Rücken und die Schneide immer zugleich mit der Schleiffläche in Berührung sein müssen, kreisförmig hin- und herbewegt.

Um der Schneide eines Messers die grösste Feinheit und Schärfe zu verschaffen, muss dasselbe weiterhin noch auf einen Streichriemen kommen, und wenn es nicht zu stumpf ist, kann man sich damit allein begnügen. Bekanntlich giebt es mancherlei Arten von Streichriemen. Feine Riemen, die mit dem einen Ende an eine Wand befestigt und an dem andern mit der Hand gehalten werden, desgleichen solche, welche man durch Schrauben oder sonst auf eine Art anspannt, sind zu verwerfen: sie biegen sich während des Streichens nach unten und machen daher die Klinge immer convex. Besser ist ein Riemen aus weichem Leder, der auf einer hölzernen Unterlage befestigt wird. Auf diesen Riemen wird

ein Gemenge einer fettigen Substanz mit einem feinen Pulver, etwa geschlemmtes *Colcothar vitrioli*, gestrichen. Als besonders passend kann ich aber dazu den erst in neuerer Zeit dazu verwandten sogenannten Diamantstaub empfehlen. Durch diesen erhalten die Messer eine ungemein scharfe Schneide.

Beim Hin- und Herstreichen auf dem Riemen hat man nicht blos darauf zu sehen, dass das Messer ganz flach gehalten wird und immer mit allen Punkten in Berührung ist, sondern dass auch beim Umdrehen der Rücken des Messers stets dem Riemen zugekehrt bleibt. Endlich muss die Bewegung beim Aufsetzen auf den Riemen in der Richtung der Diagonale ausgeführt werden.

294 Zum Fassen kleiner Objecte, die sich nicht mehr mit den Fingern halten lassen, dienen Pincetten oder Zängelchen. Gewöhnlich befindet sich ein solches in zwei feine Spitzen auslaufendes Zängelchen von Messing bei jedem Mikroskope, und es bedarf daher keiner besondern Beschreibung desselben. Zu Sectionen verdient aber in der Regel eine kleine Pincette aus Stahl den Vorzug, deren Spitzen an der Innenfläche feilenartig eingekerbt sind.

Oftmals ist es auch nöthig, dass während der Zergliederung eines Thieres einige Theile desselben in Spannung gehalten werden. Bei grösseren Thieren werden zu solchem Zwecke die bekannten Haken benutzt. Bei kleineren Thieren, wie z. B. Insecten, und ebenso bei zarten Organen, z. B. beim Auge, können recht gut feine Nadeln dazu genommen werden, die man an der Spitze hakenförmig umbiegt. Oftmals ist schon das Gewicht einer solchen Nadel ausreichend, um die gewünschte Spannung zu erzielen; reicht es aber nicht aus, so kann man um den Kopf der Nadel einen Faden befestigen, der mit einem kleinen Gewichte versehen ist (Fig. 138); dieses hängt dann frei über den Rand des Gefässes herab, worin sich der Gegenstand befindet, und zieht den betreffenden Theil an. Um nöthigenfalls die Richtung des Zuges noch zu modificiren, kann man ein Stückchen Stanniol oder etwas dergleichen auf den Faden in dem Gefässe legen, oder diesen durch ein untergelegtes Körperchen unterstützen.

Fig. 138.



Nadel, zur Spannung von Theilen vorgerichtet.

Fig. 139.



Häkchen.

Auch ein Häkchen, wie man bei manchen Augenoperationen benutzt (Fig. 139), lässt sich in einzelnen Fällen vortheilhaft anwenden.

295 Alle Objecte verlangen eine Unterlage, auf der sie entweder unmittelbar unter das Mikroskop gebracht, oder auf der die vorher nöthigen Zurichtungen vorgenommen werden. Die Mannigfaltigkeit der Objecte

und der Zurichtung derselben macht es schon begreiflich, dass nicht immer die nämliche Unterlage benutzbar ist, dieselbe vielmehr sich immer nach dem beabsichtigten Zwecke zu richten hat.

Im allgemeinsten Gebrauche sind aber Glastäfelchen, die man immer in grösserer Anzahl bereit haben muss. Sie sollen aus gutem und nicht zu dünnem Spiegelglase bestehen, glatt geschliffene Ränder und dabei eine passende Länge und Breite besitzen. Ich benutze meistens solche von 22 mm Breite und 66 mm Länge; doch muss man auch für einzelne Fälle breitere haben *).

Begnügt man sich damit, immer nur frisch zubereitete Objecte zu beobachten, so kann man sich von jedem Glaser eine ausreichende Anzahl solcher Glastäfelchen anfertigen lassen. Will man dagegen auch

---

*) In der jüngsten Zeit knüpft sich ein besonderes Interesse an die Frage, welche Grösse und Gestalt die zu Präparaten bestimmten Glastafeln haben sollen. Mehrfach werden mikroskopische Präparate als Handelsartikel angefertigt, und es haben sich auch vielfach Vereine gebildet, die unter anderen Zwecken auch den verfolgen, durch Austausch Sammlungen mikroskopischer Gegenstände zu begründen. Solche Vereine sind die *Microscopical Society* zu London, der Verein für Mikroskopie in Frankfurt, und ähnliche Vereine in Giessen, in Dresden und in Leipzig.

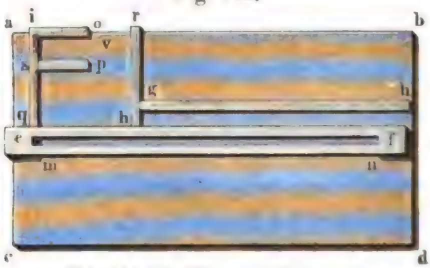
Da es nun für eine gut geordnete Sammlung der Nettigkeit halber wünschenswerth ist, dass alle Präparate auf Glastafeln von gleicher Grösse und Gestalt aufbewahrt werden, so hat man die Frage aufgeworfen, welche Grösse und welche Form der Glastafeln die passendste sein dürfte? Die Antwort auf diese Frage ist natürlich sehr verschieden ausgefallen, so dass, wer schon eine Präparatensammlung hat, sehr geneigt sein wird, den Glastäfelchen, von denen er bisher Gebrauch machte, den Vorzug zu geben. So steht denn zu befürchten, dass man sich hierüber so wenig allgemein vereinigen wird, wie über die Einheit des Maasses und des Gewichts, für dessen Wünschbarkeit sich doch noch schlagendere Gründe anführen lassen, als für die Gleichförmigkeit der Präparate eines mikroskopischen Cabinets.

Die *Microscopical Society* hat als Grundmaasse für die Glastafeln ihrer Mitglieder angenommen: 3 engl. Zoll (72 mm) Länge und 1 engl. Zoll (24 mm) Breite. Zwar etwas kleiner, aber sonst von gleicher Form sind die Glastäfelchen, auf denen ich mehrere Tausende von Präparaten bewahre. In beiden Fällen verhalten sich Länge und Breite zu einander wie 3 : 1. Diese Form ist gewählt, damit, wenn in der Mitte das Präparat liegt, bedeckt durch das vierseitige Deckplättchen, zu beiden Seiten noch ein gleich grosser Raum übrig bleibt, der für die Etiquette und für die Nummer bestimmt ist.

Ein ganz anderes Verhältniss zwischen Breite und Länge haben die Glastäfelchen des Giessener Vereins. Sie sind nämlich nur 48 mm lang und 28 mm breit, haben also etwa ein Verhältniss wie 1,7 : 1,0. Der Hauptvortheil bei dieser Form ist, dass solche Täfelchen auf dem Objecttische des Mikroskops, falls dieser nicht gar zu klein ist, herumgedreht werden können. Wegen der grösseren Breite bleibt noch Raum genug übrig, um zur Seite des Präparats mit einem Schreibediamanten, oder auch mit Tinte, auf ein aufgeklebtes Stückchen Papier die nöthige Charakteristik zu verzeichnen. Da nun auch die Vereine in Dresden und in Leipzig sich bereit erklärt haben, von dieser Form weiterhin Gebrauch zu machen, so ist zu vermuthen, dass dieselbe in Deutschland wenigstens allgemeineren Eingang finden werde.

eine Sammlung mikroskopischer Präparate anlegen, so dass man voraussichtlich Hunderte oder Tausende von solchen Gläschen braucht, so ist es gut, wenn man sich dieselben selbst zuzubereiten im Stande ist. Ich will daher hier die Beschreibung eines Apparates zum Glasschneiden beifügen, dessen ich mich schon seit vielen Jahren für diesen Zweck bedient habe. Derselbe ist übrigens ganz einfach, so dass ihn jeder Zimmermann oder Schreiner herstellen kann, so wie er Fig. 140 abgebildet ist. Es stellt nämlich *a b c d* eine kleine Tafel von gutem trockenen Eichenholze vor, 0,5 Meter lang, 0,2 Meter breit und 1 Centimeter dick. Die Mitte derselben trägt eine Leiste *e f* mit einer eingesägten Rinne; diese soll die Bewegung des Diamanten leiten und muss deshalb hinlängliche Breite haben, um das platte Stahlstück, worin dieser gewöhnlich gefasst ist, aufzunehmen. Die Ränder dieser Rinne müssen ganz gerade und eben sein. Die Leiste liegt nur bei *e* und *f* auf der Holztafel auf; in der Strecke von *m* bis *n* bleibt sie so weit von der letzteren abstehend, dass auch das dickste Glas, welches man durchschnitten wünscht, eingeschoben werden kann. In solcher Entfernung von der Mitte der Leiste, welche der Breite der gewünschten Glastäfelchen gleichkommt, befindet sich eine zweite kürzere Leiste *g h*, die der ersteren parallel verläuft. Ferner sind an der anderen Seite die beiden rechtwinkelig verbundenen Leistchen *i q* und *i o* angebracht, und an der ersteren sitzt noch ein dünneres Leistchen *s p*, welches, gleichwie die Strecke *m n*, die Oberfläche der Tafel nicht berührt; doch ist hier das Ende *p* nicht unterstützt, weil dieses der Kürze halber nicht nöthig ist, und weil es auch beim Gebrauche hinderlich sein würde. Der Abstand des Leistchens *i o* von dem nach vorn sehenden Rande des Leistchens *s p* muss etwa 2 Millimeter weniger betragen, als der Abstand von *g h* bis zur Mitte der auf *m n* befindlichen Rinne; der Abstand von *i o* bis zu dieser Rinne dagegen ist gleich der gewünschten Länge der Objecttäfelchen. Auf der also eingerichteten Schneidetafel kann man mittelst eines guten Glaserdiamants die Objecttäfelchen und Deckplättchen anfertigen. Man nimmt dazu Stückchen Spiegelglas, die man als Abfall von Spiegeln leicht für weniges Geld von jedem Spiegelfabrikanten erhält. Hat das Glas keinen geraden Rand, so hat man zunächst einen solchen herzustellen, indem man die Tafel als Lineal benutzt. Dann bringt man die Glasplatte dergestalt unter die Leiste *e f*, dass ihr gerade geschnittener Rand an die Leiste *g h* stösst, hält den Diamanten in die Rinne und bildet nun einen Riss auf dem Glase. Der also geformte Streifen wird abgebrochen, und indem man neuerdings auf

Fig. 140.



Harting's Glasschneideapparat.

gleiche Weise verfährt, erhält man lauter Streifen, die vollkommen gleiche Breite haben. Will man breitere Streifen, so setzt man den Diamanten nicht in der Rinne ein, sondern man hält ihn an den Rand der Leiste *ef*. Sind die Streifen an dem einen Ende rechtwinkelig abgeschnitten, dann werden sie nach einander in kleinere Plättchen getheilt, indem man sie der Leiste *iq* parallel legt, so dass ihr Ende an *io* stösst. Objecttafeln von der verlangten Länge bekommt man, wenn der Diamant bei *m* in die Rinne gesteckt wird; um dagegen Deckplättchen zu schneiden, wird der Diamant längs *sp* hin geführt. So oft ein Schnitt verrichtet worden ist, wird der Glasstreifen nach dem freien Theile *v* hingeschoben und das Stück am Rande der Holztafel zwischen *o* und *r* abgebrochen.

Das Mattschleifen der Ränder bewirkt man am schnellsten auf einem runden Schleifsteine, der durch ein Rad gedreht wird. In dessen Ermangelung kann man aber auch sehr gut ein Stück dickes Spiegelglas und Tripelpulver mit Wasser nehmen. Zu Ende des Schleifens wird dann das Tripelpulver vom Glase abgespült und letzteres allein zur Schleifoberfläche verwendet.

Weiter oben (§. 161) haben wir gesehen, dass es gut ist, wenn man Deckplättchen von verschiedener Dicke hat. Benutzt man Spiegelglas, so kann man sich eine Reihe von Deckplättchen anlegen von 3 mm oder auch noch mehr Dicke bis zu $^2/_3$ mm herab. Diese sind zwar bei den meisten Objecten und bei Objectivsystemen von nicht zu kurzer Brennweite sehr gut brauchbar: man bedarf aber auch noch einer Anzahl noch dünnerer Deckplättchen. Man bekommt jetzt aus den Mikroskopwerkstätten solche Deckplättchen, die nur $^1/_5$ mm, ja nur $^1/_7$ mm dick sind. Das dünne Deckglas, woraus sie geschnitten sind, kommt auch in Platten im Handel vor, und aus solchen Platten kann man sich mittelst des Lineals und Diamants Stückchen von der gewünschten Grösse und Form schneiden. 296

Will man runde oder elliptische Deckplättchen ausschneiden, so empfiehlt sich die Methode von L. Beale (Quart. microsc. Journ. I, p. 54). Er benutzt nämlich einen messingenen Ring (Fig. 141), z. B. einen gewöhnlichen Gardinenring, der sich auch in die elliptische Form biegen lässt, wenn man so geformte Deckplättchen zu haben wünscht. Zu beiden Seiten des Ringes sind zwei Messingdrähte angelöthet, um ihn auf dem Glase festzuhalten, woraus das Deckplättchen geschnitten werden soll. Man führt dann den Diamant längs der Innenseite des Ringes. Um das Deckplättchen weiterhin aus dem umgebenden Glase lösen zu können, ist es räthlich, von dem gezogenen Kreise aus mit dem Diamanten Striche nach aussen

Fig. 141.



Beale's Ring zum Schneiden von Glasplättchen.

zu führen, wo dann die dazwischen liegenden Theile des Glases sich leicht ausbrechen lassen.

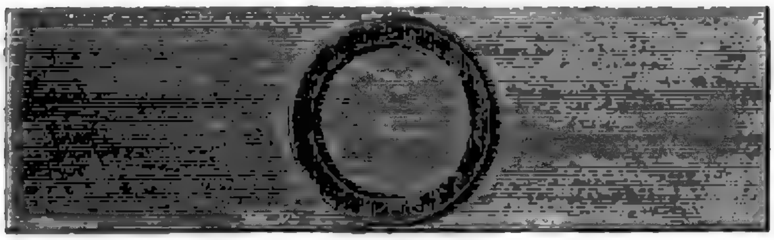
In Ermangelung von Glas kann auch Glimmer benutzt werden. Der Glimmer kommt im Handel in dicken Stücken vor, und in diesem Zustande ist er in der Regel mehr oder weniger röthlich oder gelblich gefärbt; in den dünnen Plättchen indessen, deren man sich zum Bedecken der Objecte bedient, pflegt diese Färbung ganz zu verschwinden. Am besten ist es, man verschafft sich einen Vorrath rohen Glimmers und spaltet diesen selbst in dünne Plättchen. Dieses Spalten wird unter destillirtem Wasser vorgenommen, und man kann das platte Heft eines Scalpells dabei benutzen, um die Blätter ohne Beschädigung der Oberfläche von einander zu trennen. Beim Trocknen werden sie vor Staub geschützt und dann zwischen Papier aufgehoben. Sollen sie als Deckplättchen dienen, so lassen sie sich leicht mit einer Scheere zuschneiden. Man nimmt aber nur die ganz durchsichtigen Partien, welche möglichst frei von Rissen und sonstigen Ungleichheiten sind.

Wenn ein Object ganz dicht ans Mikroskop gebracht werden muss, oder wenn dasselbe so zart ist, dass es selbst durch den schwächsten Druck eines Glas- oder Glimmerplättchens verletzt wird, dann kann man noch die sogenannte Glashaut benutzen. Eine Glasröhre wird nämlich an dem einen Ende zugeschmolzen, das geschlossene Ende wird alsdann stark erhitzt und hierauf treibt man mit einer gewissen Kraft durch das offene Ende Luft ein: es bildet sich eine grosse Glaskugel, deren Wände so dünn sein können, dass sie kaum $^1/_{1000}{}^{mm}$ messen. Die Dünnheit und Durchsichtigkeit dieses Glashäutchens lassen nichts zu wünschen übrig; ein Uebelstand haftet demselben aber an, dass es nicht ganz eben, sondern stets etwas gekrümmt ist. Bei seiner grossen Zartheit legt es sich übrigens um die Objecte, und da man nur kleiner Stückchen bedarf, so ist die gebogene Fläche nicht gerade in hohem Grade hinderlich. Zum Aufbewahren von Objecten ist es seiner grossen Zerbrechlichkeit halber nicht zu benutzen.

297 Zu sehr vielen Untersuchungen sind Gefässe erforderlich, theils um die Objecte darin zu zergliedern, theils um sie, von der einen oder der andern Flüssigkeit umgeben, unters Mikroskop zu bringen. Zu dem erstgenannten Zwecke kann man irdene Teller oder kleine Schüsseln, für kleinere Gegenstände aber auch Uhrgläser mit Nutzen verwenden. Damit die letzteren feststehen, bringt man sie in die entsprechende Oeffnung einer kleinen Tafel aus Holz oder Kork, deren Ränder zum Ueberfluss noch mit etwas Wachs bestrichen werden können. Für ganz kleine Gegenstände benutzt man dicke Glasplatten, an denen eine oder auch mehrere muldenförmige Höhlen ausgeschliffen sind. Darin liegen aber die Objecte niemals in einer geraden Fläche, die doch zur Erlangung eines reinen Bildes im Gesichtsfelde erforderlich ist, und deshalb hat man in letzterer Zeit mit Recht Glasringen (Fig. 142) den Vorzug gegeben,

oder auch mit runder Oeffnung versehenen Glasplatten, die mittelst Kautschukfirniss oder mittelst Seeleim (*marine glue*) auf Objecttafeln befestigt werden. Die Ringe, besonders aber die Platten, sind eine sehr brauchbare Beigabe des Mikroskops. Man kann sich dieselben auch selbst anfertigen, die Ringe nämlich dadurch, dass man sich dergleichen von Glasröhren auf der Drehbank abschneidet und ihre Ränder dann auf die früher erwähnte Weise glattschleift, die durchbohrten Glasplatten dadurch, dass man ein messingenes Rohr von der erforderlichen Weite an einem Bohrapparate befestigt und denselben unter Benutzung von Tripelpulver und Wasser wirken lässt.

Fig. 142.



Präparirtrog mit Glasring.

Auf eine der drei folgenden Arten kann man sich indessen mit weniger Mühe recht brauchbare kleine Tröge oder Hohlgeschirre verschaffen.

a. Kautschuktröge. Im Handel kommen jetzt Kautschukplatten von verschiedener Dicke vor. Die dünnsten sind etwa 1^{mm} dick; aus ihnen kann man Platten von beliebiger Dicke formen, da die Platten bei einiger Erwärmung leicht an einander kleben. In ein viereckiges, hinreichend grosses Stück einer solchen Platte wird eine Oeffnung gemacht, wozu man sich einer Scheere bedienen kann, oder die man mittelst eines passenden ringförmigen Meisels und eines Hammers herausschlägt. Um dann den Kautschukring auf einer Glasplatte zu befestigen, kann man den im Handel vorkommenden und in England verfertigten Seeleim nehmen, der durch Erwärmung flüssig wird. Ich benutze aber hierzu schon seit vielen Jahren folgenden Leim, der den Zweck gleich gut erfüllt und leicht herzustellen ist.

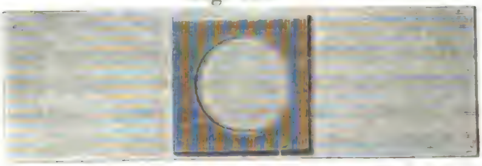
Zu 15 Theilen Terpentinöl setzt man 1 Theil fein zerschnittene Guttapercha und löst dieselbe bei mässiger Wärme und unter beständigem Umrühren darin auf. Die Lösung wird hierauf durch ein Tuch gegossen, um die Unreinigkeiten zu trennen, die immer in der rohen Guttapercha vorkommen. Der reinen Solution wird dann 1 Theil Schellack zugesetzt, das sich bei mässiger Wärme und unter beständigem Umrühren darin auflösen muss. Man fährt aber so lange mit Erwärmen fort, bis ein auf eine kalte Platte gegossener Tropfen beinahe erhärtet. In diesem Zustande eignet sich der Leim zum Gebrauche. Muss er späterhin wieder geschmolzen werden, so setzt man ihm vor dem Erwärmen etwas Terpentinöl zu.

Um den Kautschukring mittelst dieses Leims auf das Glas zu kleben, verfährt man auf folgende Weise. Der Ring kommt auf den Tisch und auf denselben wird die Glastafel so gelegt, dass sie überall gleichweit den Ring überragt. Mittelst eines Pinsels streicht man nun den warmen Leim da, wo der unterliegende Ring durchscheint, auf die Glastafel, aber

nur in dünner Schicht, weil sonst das Ueberflüssige weiterhin an den Rändern heraustreten würde. Hierauf wird der unterliegende Ring auf die mit Leim bestrichene Partie der Glastafel aufgesetzt und die Glastafel über Feuer leicht erwärmt; schliesslich aber setzt man das Ganze, und zwar den Ring nach unten gekehrt, auf ein kaltes Stück Spiegelglas, bis der Leim erkaltet und hart geworden ist.

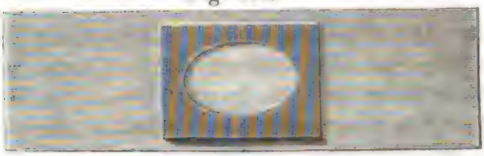
b. Guttaperchatröge. (Fig. 143 und 144.) Die Guttapercha kommt jetzt ebenfalls in Lamellen von verschiedener Dicke im Handel vor. Diese sind oftmals nicht ohne Weiteres zur Anfertigung kleiner Tröge verwendbar, weil die Guttapercha nach einiger Zeit an der Luft sich blättert und bröckelig wird. Dieser Unvollkommenheit lässt sich aber abhelfen, wenn man die Guttapercha in kochendes Wasser taucht, wodurch die frühere Biegsamkeit wiederkehrt.

Fig. 143.



Runder Guttaperchatrog.

Fig. 144.



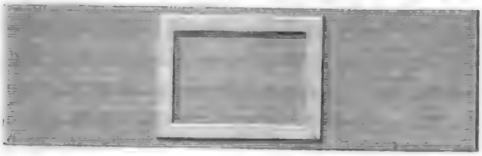
Ovaler Guttaperchatrog.

Bei der Anfertigung von Guttaperchatrögen verfährt man am besten in folgender Weise. Aus der Guttaperchalamelle wird mit einer Scheere ein länglich viereckiges Stück ausgeschnitten, nicht ganz so breit als die Glastafel, welche zur Unterlage dienen muss. Dieses Stück taucht man ebenfalls in kochendes Wasser, legt es noch nass auf die ebene, ebenfalls nass gemachte Oberfläche eines Stückes Holz, und schlägt mittelst Hammer und Hohlmeisel, dessen Durchmesser ein Kreis oder eine Ellipse ist, den mittleren Theil heraus. Der so erhaltene Guttaperchaaring, der nur eine Dicke von 3 bis 4 Millimeter zu haben braucht, wird nun zum zweiten Male in kochendes Wasser getaucht, dann an der Unterseite rasch, aber sorgfältig getrocknet, so dass keine Spur von Wasser mehr vorhanden ist, und jetzt wird er, noch ziemlich warm und weich, auf das dafür bestimmte Glastäfelchen gelegt. Wird nun mit einer zweiten geraden Glasplatte, die mit Wasser befeuchtet ist, einige Augenblicke auf die Oberfläche ein gleichmässiger Druck ausgeübt, so ist der kleine Trog fertig, weil die trockene, erwärmte Guttapercha von selbst der ebenfalls trockenen Oberfläche der Glastafel anklebt. Nöthigenfalls kann man dieses Ankleben noch dadurch unterstützen, dass man die Theile über einer Alkohollampe schwach erwärmt.

Solche Guttaperchatröge kann man viele in einem kurzen Zeitraume anfertigen. Sie haben fast eben so gerade Ränder, als die viel kostspieligeren Glasringe und erfüllen ihren Zweck gleich gut wie diese.

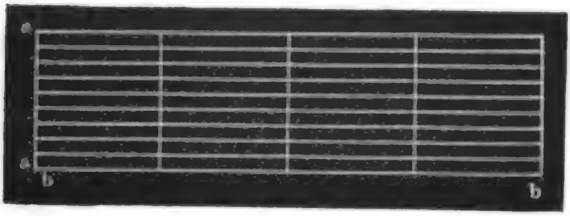
c. Wenn auch die Tröge aus einer dieser beiden Substanzen fast für alle Zwecke vollkommen ausreichen, so giebt es doch Fälle, wo Glaströge den Vorzug verdienen. Diese kann man sich aber auch leicht auf folgende Weise verschaffen. Zuvörderst muss man ein paar Glasstreifen haben von passender Breite, mit parallelen Rändern und rechtwinkelig abgeschnittenen Enden, so dass sie gehörig an einander liegen und zusammen ein Rectangel bilden, etwa wie Fig. 145. Zu diesem Behufe zieht man auf einem Papiere (Fig. 146) mehrere Linien *a a* so weit von einander entfernt, als die Glasstreifen breit sein sollen, also

Fig. 145.



Viereckiger Glastrog.

Fig. 146.



Liniirtes Papier zur Bildung von Glasstreifen.

etwa 3 mm. Senkrecht auf diese Linien werden dann andere Linien *b b* gezogen, deren Zwischenraum der gewünschten Länge der Glasstreifen entspricht. Dieselben müssen natürlich von zweierlei Grösse sein, wenn man ziemlich quadratische Tröge haben will. Die Abstände der Linien nimmt man dann so, dass ein kürzerer Abstand immer mit einem längeren abwechselt. Diese Vorsicht erscheint aus dem Grunde nicht überflüssig, weil das meiste Spiegelglas an der einen Seite dicker ist als an der anderen; wenn daher der kleine Trog eine möglichst gleiche Oberfläche bekommen soll, dann müssen zu seiner Zusammensetzung immer Streifen benutzt werden, die sich möglichst nahe bei einander befinden.

Mit einem solchen liniirten Papiere, einem Lineal und einem Diamanten fällt es nicht schwer, die nämlichen Linien auch auf Glas zu ziehen. Indessen muss beim Auftragen beider Classen von Linien darauf gesehen werden, dass sie auf die entgegengesetzten Oberflächen der Glastafel kommen. Werden nämlich Querlinien über senkrechte Linien hingezogen, so läuft man Gefahr, dass an den Winkeln kleine Glassplitter ausspringen.

Besitzt man eine solchergestalt getheilte Glasplatte, dann kann man mittelst des oben beschriebenen Guttaperchaleims in kurzer Zeit eine grosse Anzahl Tröge aus den abgebrochenen Glasstreifen zusammensetzen. Man nimmt vier einander nahe befindliche Glasstreifen, zwei längere und zwei kürzere, bringt auf die eine Fläche derselben sowie dahin, wo zwei Streifen an einander stossen, etwas von jenem Leime und reiht dieselben auf einer Objecttafel zu einem Viereck zusammen. Damit sich der Leim noch besser ausbreitet, wird das Ganze dann leicht erwärmt und nöthigenfalls werden die Streifen noch etwas an einander angedrückt. Nach erfolgter Abkühlung ist ein solcher kleiner Trog für alle Fälle brauchbar, ausser wenn Alkohol, Aether oder flüchtige Oele hineinkommen; denn diese würden den Leim lösen. Ebenso versteht es sich von selbst, dass sie nur bei gewöhnlicher Temperatur Anwendung finden können. Uebrigens müssen diese Glaströge sowohl wie die Kautschuk- und Guttaperchatröge immer so aufbewahrt werden, dass der kleine Trog nach unten sieht, um das Einfallen von Staub zu verhüten.

Grössere Glaskästchen zum Zergliedern von Objecten oder zur Aufnahme grösserer Gegenstände, die man unter Wasser betrachten muss, lassen sich auf ähnliche Weise herstellen, wozu es indessen keiner besonderen Anweisung bedarf. In den meisten Fällen soll aber blos Wasser in solche Kästchen kommen, und der grösseren Festigkeit halber ist es demnach besser, ihre Wandungen aus Blech zu machen und darin einen Boden aus dickem Spiegelglase mittelst einer mit Mennige angemachten Stopffarbe zu befestigen. Der Sicherheit halber können dann die Ränder noch mit Guttaperchaleim angestrichen werden.

Zur Anfertigung sehr seichter Glaströge hat L. Beale (Quart. Journ. I, p. 56) noch ein gutes Verfahren angegeben, welches darauf beruht, dass, wenn ein dünnes Deckglas mit Seeleim befestigt ist, Sprünge in demselben sich nur bis zum Befestigungspunkte ausbreiten. Auf einen von den gläsernen Ringen, die zur Anfertigung tieferer Tröge benutzt werden, klebt man mit Seeleim und unter Wärmeanwendung eine kleine Platte von dünnem Deckglase auf. In dieselbe bohrt man mit einer dreikantigen Feile ein Loch und erweitert dieses, bis die Oeffnung in dem dünnen Glasplättchen ebenso gross geworden ist, als jene in dem Glasringe. Durch Erwärmung löst man dann das durchbohrte Plättchen von dem Ringe ab, und nun kann man es unmittelbar auf eine Glasplatte befestigen.

Statt der kleinen Tröge benutzt Welcker (Ueber die Aufbewahrung mikroskopischer Objecte, 1856, Seite 10) eine Zwischenlage von Wachs, die je nach der Dicke des Objects ungleich dick ist. Er nimmt nämlich eine kleine Wachsrolle, die am Ende meiselförmig abgeschnitten ist, erwärmt sie an einer Spirituslampe, so dass das Wachs langsam, ohne Tropfen zu bilden, auf die vier Ecken an der Untenfläche des Deckplättchens fliesst und dort gleichsam vier Füsschen bildet. Wird hierauf das Deckplättchen auf das Object gelegt, welches sich auf einer

Glastafel in einer Flüssigkeit befindet und angedrückt, so breitet sich das Wachs etwas aus und die überschüssige Flüssigkeit fliesst weg. Wirklich lassen sich durch dieses einfache Hülfsmittel in vielen Fällen die verschiedenen Arten von Trögen recht gut ersetzen, wenn nicht eine zu grosse Dicke der Präparate hinderlich ist, wie es bei den meisten injicirten und nass aufbewahrten Geweben der Fall ist.

Zum Behufe mancher Zergliederungen ist es nöthig, das Object zu 298
befestigen. Hierzu dienen Korkplatten, auf denen das Object mit Nadeln befestigt wird. Sind die Theile des Objects sehr fein und, wie es gewöhnlich der Fall ist, weisslich oder hell, dann ist es räthlich, die Oberfläche der Korkplatte mit einer russhaltigen, gleichmässig schwarz gefärbten Wachsschicht zu bedecken, oder noch besser ist es, dieselbe nach Strauss-Durckheim mit schwarzer Seide zu überziehen.

Viele feine Zergliederungen von Insecten, von Eingeweidewürmern u. s. w. müssen unter Wasser vorgenommen werden und dann müssen die Korkplatten auf Bleitafeln befestigt sein, wozu man gewöhnliches Pech benutzen kann.

Für manche Fälle kann man auch mit Vortheil ein anderes Hülfsmittel benutzen, das zuerst, so viel mir bekannt, von Strauss-Durckheim empfohlen worden ist, nämlich ein Gemenge von Gyps und Wasser, in einem Verhältniss, dass es nach ein paar Minuten zur Erstarrung kommt. Grössere Gegenstände kann man in einen solchen Gypsbrei legen, so dass sie durch ihr Gewicht oder durch einen schwachen Druck darin einsinken und in der also gebildeten Höhle, sobald das Gemenge einmal erstarrt ist, eben so fest liegen, wie die Auster an ihre Schaale angeheftet ist. Bei kleineren Gegenständen und solchen, an deren Oberfläche Auswüchse oder Haare vorkommen, ist weiter nichts nöthig, als dass man etwas von jenem Brei auf eine Glasplatte bringt und den Gegenstand darauflegt. Auch kann der Gyps nöthigenfalls auf verschiedene Art gefärbt werden. Um ihn schwarz zu färben, kann man das Gemenge statt Wassers mit Tinte versetzen. Muss aber die Zergliederung unter Wasser vorgenommen werden, so setzt man zu diesem Zwecke lieber Russ zu.

Bei der Zergliederung zarter Embryonen empfiehlt Rusconi (*Ann. des Sc. nat.* 1841, *Avril*), dieselben auf eine der genannten Weisen in vorher geschmolzenem Wachse zu befestigen.

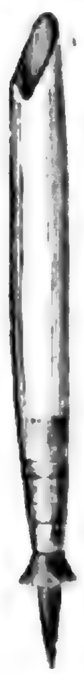
Zu den Hülfsmitteln bei mikroskopischen Untersuchungen gehören 299
ferner auch mehrere Glasstäbchen, die man sich leicht dadurch verschaffen kann, dass man aus einer Glastafel Streifen von 2 bis 3 Millimeter Breite und 10 bis 15 Centimeter Länge schneidet und deren Enden in der Löthrohrflamme abstumpft, oder dass man gleichlange Thermometerröhren an beiden Enden zuschmilzt. Diese Stäbchen werden vielfach benutzt, namentlich um Flüssigkeiten tropfenweise auf die Ob-

jecttafel zu bringen. Hierzu schicken sie sich besser als andere Hülfsmittel, weil sie so leicht gereinigt werden können.

Für manche Zwecke eignen sich auch **Pipetten**, um z. B. eine Portion einer Flüssigkeit aufzunehmen, worin sich ein einzelnes Object oder ein paar Objecte, wie kleine Wasserthierchen, Infusorien u. s. w., befinden, die man zu isoliren wünscht, oder wenn man ein Uebermaass von Flüssigkeit in einem Troge oder sonst wo entfernen will.

Manchmal sind jedoch die Flüssigkeitsmengen, mit denen man arbeitet, zu gering, als dass ihre Aufnahme durch eine gewöhnliche gläserne Pipette, und wäre sie noch so fein, geschehen könnte. Man kann dann einen Pinsel nehmen, (Fig. 147), an dem man nach Strauss-Durckheim die oberflächliche Haarschicht zum Theil abgeschnitten hat; der Pinsel bekommt dadurch eine feinere Spitze und er saugt mehr Wasser auf als ein durchweg dünnerer Pinsel. Ein solcher Pinsel muss allemal erst nass gemacht werden, bevor man ihn in Gebrauch nimmt; das überflüssige Wasser aber drückt man zwischen den Fingern aus.

Fig. 147.



Saugpinsel.

Zu dem genannten Zwecke kann man auch ein fest zusammengerolltes Stückchen Fliesspapier nehmen, dessen Ende man in den Tropfen hält, der entfernt oder vermindert werden soll.

300 Eine häufig vorkommende Arbeit, namentlich bei mikrochemischen Untersuchungen, ist das Abspülen eines Objects mit Wasser. Dazu lassen sich die eben beschriebenen Pipetten benutzen; noch besser eignet sich aber dazu eine **Spritzflasche**, die man sich leicht herstellen kann. Man braucht nur eine dünne Glasröhre mit enger Oeffnung, etwa eine mässig weite Thermometerröhre, mittelst eines durchbohrten Korkes auf einer kleinen Flasche dergestalt zu befestigen, dass ein Ende der Röhre gerade unter der Oberfläche des Korkes in das Fläschchen hineinragt. (S. Fig. 124, *r*.) Nimmt man ein solches Fläschchen, welches zur Hälfte oder zum dritten Theil mit Wasser gefüllt ist, umgekehrt in die Hand, so dehnt sich die Luft durch die Wärme der Hand aus und treibt das Wasser aus der Oeffnung hervor. Natürlich kann man solche Spritzflaschen, wie für Wasser, so auch für andere Flüssigkeiten einrichten. Zu Alkohol, Aether, Oel, wässrigen Solutionen kann immer ein Kork genommen werden; bei Säuren und Alkalien dagegen muss man einen besonderen Pfropf von Kautschuk oder von Guttapercha anfertigen. Letzteres eignet sich besonders dazu, weil es durch Erwärmung jede Form annimmt.

Man kann aber auch Spritzflaschen nehmen, wie sie gegenwärtig unter den Glaswaaren zu chemischem Gebrauche überall zu finden sind. In ein kleines cylindrisches Fläschchen mit enger Oeffnung ist der weitere Theil eines Pipettenrohrs eingeschliffen, dessen Spitze bis nahe auf

den Boden des Fläschchens reicht. Auf den Hals der Pipette passt ein eingeschliffener gläserner Stöpsel. Beim Gebrauche wird ein Theil der Pipettenkugel mit der im Fläschchen enthaltenen Flüssigkeit gefüllt, entweder durch Saugen oder indem man die Kugel erwärmt, wodurch die Luft zum Theil ausgetrieben wird und die Flüssigkeit in der Pipette aufsteigt, wenn diese hineintaucht. Ist die Kugel der Pipette theilweise gefüllt, so wird die Flüssigkeit durch die Wärme der Hand tropfenweise ausgetrieben, indem die rückständige Luft sich ausdehnt. (S. Fig. 124, *o.*) Derartige Spritzflaschen passen besonders bei der Benutzung von Säuren.

Wegen ihrer Zerbrechlichkeit sind jedoch diese sonst ganz zweckmässigen Spritzflaschen nicht gut brauchbar. In dieser Hinsicht, und wo die Anwendung eines Tropfens der Flüssigkeit hinreicht, verdienen andere Flaschen den Vorzug, die jetzt auch allgemein unter den chemischen Glaswaaren verkäuflich vorkommen und deren eine Fig. 124 *z* abgebildet ist.

Die bis hierher aufgeführten Instrumente und Hülfsmittel reichen für die Mehrzahl der mikroskopischen Untersuchungen aus. Sonst noch erforderliche sollen bei der Beschreibung der nun folgenden mikroskopischen Zubereitungen mit angeführt werden.

Alle Zubereitungen, denen Objecte zum Behufe der mikroskopischen 301
Untersuchung unterliegen, haben den Zweck, dasjenige sichtbar zu machen, was ohne jene Zubereitung nicht sichtbar ist. In der Mehrzahl der Fälle ist jenes Nichtsichtbarsein nur die Folge davon, dass die Objecte undurchsichtig sind und diese Undurchsichtigkeit rührt wiederum von ihrer zu grossen Dicke her. Sehr vielen Körpern, namentlich allen organischen, kommt im strengen Sinne des Wortes die Undurchsichtigkeit, d. h. die Undurchdringlichkeit für Lichtstrahlen, keineswegs zu; der einzige Grund ihrer in gewissem Betrachte scheinbaren Undurchsichtigkeit ist darin zu suchen, dass die kleinsten sie zusammensetzenden Theilchen eine solche Form besitzen, vermöge deren die aus einem andern Medium eintretenden Lichtstrahlen augenblicklich in verschiedenen Richtungen gebrochen und reflectirt werden; daher ist eine Schicht auch nur von einiger Dicke ihrem ferneren Fortgange hinderlich.

Das ganze Geheimniss, den inneren feineren Bau der Objecte sichtbar zu machen, läuft daher darauf hinaus, dass man sie in Schichten zerlegt, die fein genug sind, dass bei dem bestimmten Medium, worin das Object sich befindet, die Lichtstrahlen durch dasselbe bis zum Auge des Beobachters gelangen können.

Die Anfertigung dünner Durchschnitte gehört zu den häufigsten Arbeiten, die dem Mikroskopiker vorkommen, daher es jedem Anfänger nicht genugsam empfohlen werden kann, dass er sich die nöthige Fertigkeit darin aneignet. Man hat freilich mancherlei weiterhin zu beschreibende Instrumente für diesen Zweck ausgedacht. Bei allen findet sich hauptsächlich eine durch eine feine Schraube bewegte Einrichtung,

worin die Objecte befestigt werden, deren vorragende Partie sich über einer durchbohrten Platte befindet und mittelst eines scharfen Messers, welches sich über die Platte bewegt, scheibenförmig abgeschnitten wird. Mittelst der Schraube, wodurch das Object höher oder tiefer gestellt werden kann, lässt sich die Dicke der Scheibe reguliren. Wenn nun aber auch nicht geläugnet werden kann, dass sich mit einem derartigen Apparate Durchschnitte herstellen lassen, die eine gleichmässigere Dicke haben als die aus freier Hand gewonnenen, so ist es doch eben so sicher, dass sie für die eigentliche mikroskopische Untersuchung wenig oder gar keinen Nutzen gewähren. Ihre eigentliche Bestimmung kann nur die sein, Cabinetsstücke anzufertigen, die man wegen der Zierlichkeit der Form und des Gefüges sogenannten Liebhabern zeigt, z. B. Durchschnitte von Pflanzenstengeln und ähnlichen Gegenständen, die sich schwer in hinlänglich dünnen Schnitten und dabei zugleich durch die ganze Breite des Gegenstandes herstellen lassen.

Nur ein Fall ist mir bekannt, wo ein solches Instrument für wissenschaftliche Zwecke benutzbar ist, wenn es sich nämlich darum handelt, die Elementartheile, welche inmitten anderer in einem Gewebe vorkommen, numerisch zu bestimmen. Man muss alsdann sehr genau die Dicke des genommenen Durchschnittes kennen, und diese Bedingung ist nur mittelst eines solchen Instrumentes zu erfüllen, welches mit einer Mikrometerschraube und einem Index versehen ist und wo das Messer auch nicht aus freier Hand geführt wird, sondern in einer dazu bestimmten Rinne läuft. Bringt man z. B. die später zu beschreibende Methode, nach welcher die Objecte im Gesichtsfelde gezählt werden, zugleich mit einem derartig eingerichteten Instrumente in Anwendung, so ist man im Stande, die Anzahl der Ganglienzellen in verschiedenen Abschnitten eines in Chromsäure oder in Alkohol erhärteten Rückenmarks zu zählen. Der Druck, welcher angewendet werden muss, um den Durchschnitt durchsichtig zu machen, bringt in diesem Falle keinen Schaden. Denn allerdings können nur durch diesen Druck die Ganglienzellen, welche früherhin eine etwas höhere oder tiefere Lage hatten, in die nämliche Ebene gebracht werden.

Bei wissenschaftlichen Untersuchungen bietet nun aber das Anfertigen von Durchschnitten aus freier Hand einen bestimmten Vortheil, weil gerade die partielle Trennung eines Theils manchmal Einzelnheiten des Gefüges deutlicher erkennen lässt, als wenn das Object ganz durchschnitten wurde. Auf einem solchen partiellen Längsdurchschnitte eines Pflanzenstengels erkennt man z. B. manchmal sehr deutlich, dass die Punkte vieler getüpfelten Gefässe, wenn sie auch manchmal durch verdünnte Stellen der Membran erzeugt werden, doch oftmals wahre Oeffnungen sind. Man sieht es namentlich dann, wenn durch den Schnitt ein Theil eines solchen Gefässes der Länge nach getrennt wird und dieser Theil sich am Rande des Durchschnitts befindet. Auf solche Weise überzeugt man sich leicht vom Vorhandensein einer Höhle in den Knor-

pelzellen durch die einspringenden Vertiefungen an den unebenen Rändern des Durchschnitts, und so noch in vielen anderen Fällen.

Das am häufigsten gebräuchliche Instrument zur Anfertigung von Durchschnitten ist ein Rasirmesser. Man benutzt dasselbe bei allen solchen Theilen, die dem Schnitte einen mässigen Widerstand entgegensetzen, wie fast alle pflanzlichen Theile, Knorpel, getrocknete oder erhärtete thierische Gewebe. Viele der letzteren gestatten aber auch im frischen und weichen Zustande mittelst eines Rasirmessers ziemlich dünne Schnitte zu machen, wenn dasselbe nur gehörig scharf ist. 302

Meistens hält man den Gegenstand, von dem man einen Durchschnitt will, nach oben gekehrt und schneidet dann nach sich zu. Weiche organische Körper von hinreichender Grösse fasst man zwischen Daumen und Zeigefinger; den Mittelfinger der nämlichen Hand hält man aber so, dass das Rasirmesser beim Führen des Schnitts darüber hingleitet.

Manchmal ist der Körper zu dünn oder zu biegsam, als dass sich auf diese Weise Durchschnitte davon machen liessen. Es ist dann besser, man legt ihn auf eine Korkplatte und führt den Schnitt nach unten.

Bei Körpern, die an und für sich feucht sind, ist es räthlich, vor dem Ausführen des Schnittes das Messer zu befeuchten: der angefertigte Schnitt lässt sich dann leichter ohne Quetschung vom Messer abheben, und ausserdem werden auch beim Durchschneiden mit einem trockenen Messer die feinen zusammensetzenden Theile leichter beschädigt, als wenn man mit einem benetzten Messer schneidet.

Sind die Körper gross genug, dass sie leicht in der Hand gehalten werden können, so braucht man sie nicht auf andere Weise zu befestigen. Bei sehr kleinen Gegenständen muss man aber zu verschiedenartigen Befestigungsmitteln seine Zuflucht nehmen, die je nach der Art des zu untersuchenden Körpers abgeändert werden müssen. 303

Die häufigste Anwendung kann dabei eine Gummilösung finden aus gleichen Theilen Wasser und Pulver von reinem arabischen Gummi. Ein Tröpfchen einer solchen Solution bringt man auf ein Objectgläschen und legt das Object hinein. Ist die Gummilösung durch Verdunsten des Wassers erhärtet, dann ist der Körper genugsam befestigt, um Durchschnitte davon zu machen.

Sind die Körper sehr klein, dann mengt man sie mit der Gummisolution, und nachdem dieselbe getrocknet ist, macht man Schnitte. Legt man diese Schnitte alsdann in Wasser, so löst sich das Gummi auf, und die kleinen, zum Theil durchschnittenen Objecte bleiben zurück. Auf diese Art kann man leicht Durchschnitte von Amylumkörnern, von Pollenkörnchen und ähnlichen kleinen Körpern bekommen.

In anderen Fällen kann man mit der Gummisolution noch folgendes Hülfsmittel in Verbindung bringen. Will man z. B. Durchschnitte von

Haaren, von Fischschuppen u. s. w., so vereinigt man eine gewisse Menge derselben mittelst einer Gummisolution, die Haare bündelförmig, die Schuppen aber zu einer Lage von gewisser Dicke. Nun macht man in einen gewöhnlichen Korkstöpsel eine Rinne, die weit und tief genug ist, um das Haarbündel oder die Schuppenlage leicht aufzunehmen. Hierauf wird ein Draht um den Kork gewunden, so dass die Ränder der Rinne gegen einander gedrückt und die Objecte dazwischen festgehalten werden. Lässt man hiernach das Ganze trocknen, so kann man aus dem Korke und den darin steckenden Theilen Durchschnitte von grösster Feinheit machen. Der Vorzug dieser Methode besteht darin, dass der Kork selbst dem Messer eine grosse Schnittfläche bietet.

Will man endlich von grösseren dünnen, plattenförmigen Gegenständen, wie Blasen, thierischen Häute u. s. w., vertikale Durchschnitte, so klebt man dieselben mit Gummi auf eine Platte von Kork oder von Holz und macht auf gewöhnliche Weise Durchschnitte, die sich dann in Wasser von ihrer Unterlage lösen.

Pflanzenblätter, die der Schneide einen ausreichenden Widerstand bieten und bei denen es einerlei ist, wo der Durchschnitt erfolgt, braucht man nur einige Male um sich selbst zu wickeln, dann bieten sie dem Schnitte eine hinlänglich breite Oberfläche.

304 Bei thierischen Geweben ist die grosse Weichheit oftmals hinderlich, gehörig dünne und durchsichtige Durchschnitte davon zu bekommen. Deshalb ist man schon lange auf verschiedene Mittel bedacht gewesen, solche Gewebe fester und härter zu machen, so dass das durchdringende Messer einigen Widerstand erfährt.

Das älteste und in den meisten Fällen auch zugleich vortheilhafteste Mittel ist dieses, dass man solche Gewebe bei mässiger Wärme trocknen lässt und in getrocknetem Zustande Durchschnitte macht. Bringt man diese dann in einen Tropfen Wasser, so saugen sie dasselbe auf, sie dehnen sich aus und nehmen meistens wieder ganz die Form wie in frischem Zustande an. Man hat aber dabei auf folgende Punkte zu achten:

1. Niemals trockne man zu grosse Stücke eines Organs, weil die Austrocknung dadurch verzögert wird und zugleich zu besorgen steht, es möchte bei dem Wärmegrade, dem das Gewebe ausgesetzt werden muss, in den tieferen Partien Verderbniss eintreten. Stücke von 5 bis 8 Millimeter Dicke sind am passendsten und bieten auch nach dem Einschrumpfen durchs Trocknen noch eine hinlänglich breite Schnittfläche.

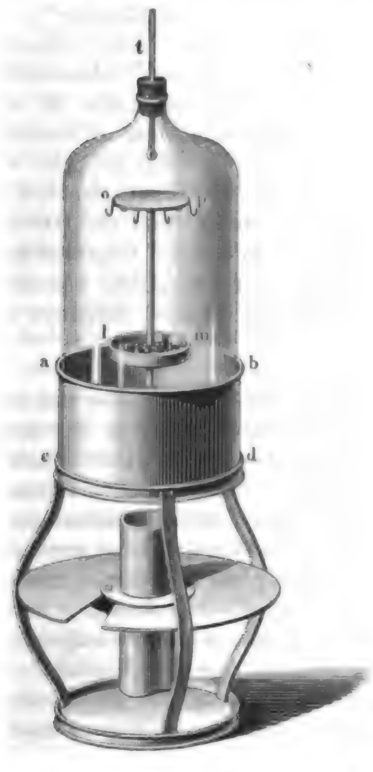
2. Das Trocknen muss bei einem passenden Wärmegrade vorgenommen werden. Bei zu niedriger Wärme erfolgt das Trocknen zu langsam und das Gewebe geht in Fäulniss über; bei zu hoch gesteigerter Wärme coagulirt das darin enthaltene Eiweiss. Im Allgemeinen kann man annehmen, der Wärmegrad darf 50° C. nicht überschreiten.

3. Enthält der Theil Fett, so wähle man zum Trocknen ein Stück, welches möglichst rein von Fett ist; dasselbe schmilzt in der Wärme,

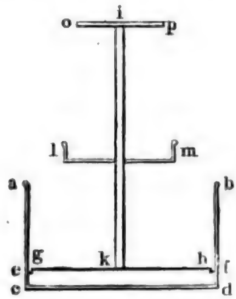
durchdringt das Gewebe, nachdem das Wasser verdunstet ist, und so kann sich der Theil späterhin nicht wieder gehörig im Wasser ausdehnen, wenn die genommenen Durchschnitte nicht vorher mit Aether ausgezogen werden. Ist es nicht möglich, einen fettfreien Theil zum Trocknen zu verwenden, so muss man eine dünne Schicht bei einer Temperatur unter dem Schmelzpunkte des Fettes trocknen, also bei höchstens 40° C., da 50° C. der Schmelzpunkt für die reine Margarine ist, die im Menschenfette immer mit der schon bei gewöhnlicher Temperatur flüssigen Elaine verbunden vorkommt.

4. Als Wärmequelle kann man im Sommer die Sonnenstrahlen verwenden, im Winter dagegen ist künstliche Wärme erforderlich. Da aber die Gegenstände, wenn sie in der Luft hängen, durch den auffallenden Staub immer verunreinigt werden, so gebe ich dem Fig. 148 abgebildeten

Fig. 148 A



B



C



Harting's Trockenapparat.

Apparate den Vorzug, mit dem auch zugleich eine entsprechende Temperaturregelung möglich ist. Bei A ist der ganze Apparat abgebildet, bei B nur ein Theil desselben im Durchschnitte; die Buchstaben bezeichnen aber bei A und B die nämlichen Theile. Es ist *abcd* der Durch-

schnitt eines runden Behälters, der oben offen ist. Bei *ef* befindet sich ein zweiter Boden, der lose auf einem dazu bestimmten Rande aufliegt. Der Raum zwischen *ef* und *cd* enthält feinen Sand. Auf *ef* liegt das runde Fussstück *gh* mit dem Pfeiler *ik* in der Mitte. An diesem Pfeiler, etwa am ersten Drittel seiner Höhe, ist der runde Kasten *lm* befestigt, der mit trocknem Chlorcalcium gefüllt wird. Am oberen Ende des Pfeilers *ik* befindet sich eine runde Platte *op* mit ein paar Häkchen am Rande, welche dazu bestimmt sind, die zu trocknenden Theile mit Drähten daran aufzuhängen. Theile, die auf Glastäfelchen ausgebreitet sind, kann man auf die Platte selbst legen. Eine das Ganze bedeckende Glasglocke, in deren Halse sich ein Thermometer *t* befindet, ruht auf dem zweiten Boden *ef*. Der ganze Apparat wird von einem passenden Fussstücke getragen; dasselbe besteht aus drei Säulen und einem Widerhalter. Zur Wärmeentwickelung dient eine Argand'sche Lampe. Alles ist aus starkem Blech gemacht, nur der Boden *cd* ist aus Messing *).

Oftmals benutze ich auch, namentlich wenn es keiner künstlichen Wärme bedarf, jenen Apparat, der in allen chemischen Laboratorien im Gebrauch ist, um Substanzen über Schwefelsäure zu trocknen. Er stimmt in mancher Beziehung mit dem oben beschriebenen Apparate überein; er hat aber einen cylindrischen Behälter aus Eisen und eine doppelte Wand, um Quecksilber aufzunehmen. Innen steht ein weites cylindrisches Glas, in welches die Schwefelsäure kommt, und darauf liegt ein Deckel aus Drahtgeflecht. Auf letzteren kommen die Objecte auf Glastäfelchen zu liegen. Das Ganze wird dann noch mit einer Glasglocke bedeckt, deren Rand zwischen den beiden Wandungen des eisernen Behälters in das Quecksilber taucht.

305 Ist nun auch das mit Sorgfalt ausgeführte Trocknen das zumeist anwendbare Mittel, um den Geweben die zur Anfertigung von Durchschnitten geeignete Härte zu ertheilen, so sind doch auch wieder Nachtheile damit verbunden; zudem ist dieses Mittel nicht in allen Fällen anwendbar. Unter den Nachtheilen ist zuerst der zu nennen, dass die einmal getrockneten Theile, wenn sie späterhin wieder in Wasser gelegt werden, ihr früheres Volumen, wie im frischen Zustande, nicht vollkommen wieder erlangen. Bei den Muskeln fand ich (*Recherches micrométriques* p. 59) den Durchmesser der getrockneten und durch Wasser wiederum aufgeweichten Primitivbündel zu jenem der frischen Primitivbündel = 1 : 1,31. Manche getrocknete thierische Gewebe, z. B. die Hornhaut, die Wandungen der Venen und Arterien nehmen dagegen, wenn sie in Wasser wiederum aufgeweicht werden, einen grösseren Raum ein als im frischen Zustande.

*) Der nämliche Apparat kann auch zum Ausbrüten von Eiern benutzt werden. Es wird dann der Pfeiler *ik* mit dem Chlorcalciumbehälter u. s. w. weggenommen, und die Eier, gehörig in Baumwolle gewickelt, kommen in den offenen Theil des Behälters *abcd*. Darüber aber kommt ein Deckel (C), der bei *v* mit einer Oeffnung für das Thermometer versehen ist.

Ein zweiter Nachtheil ist der, dass manche Elementartheile, z. B. die Primitivfasern der Sehnen und Bänder, beim Trocknen so stark zusammenkleben, dass sie späterhin, wenn sie von Wasser durchweicht werden, nicht mehr gesondert zum Vorschein kommen. Muss man nun auch zugeben, dass dieses Zusammenkleben in der Regel nicht stattfindet, da viele von den feinsten Elementartheilen, die Primitivfasern der Muskeln, die Nervenröhren u. s. w., beim Trocknen keine sehr in die Augen fallende Veränderung erleiden, so ist es doch wünschenswerth, auch andere Erhärtungsmethoden in Gebrauch zu ziehen, um die auf verschiedenen Wegen erhaltenen Resultate mit einander vergleichen und dadurch zu einem zuverlässigen Schlusse gelangen zu können.

Zunächt kommen hier alle jene Flüssigkeiten in Betracht, welche das Eiweiss coaguliren oder unlösliche Verbindungen mit demselben bilden können: Alkohol, Sublimatsolution, Salpetersäure, Chromsäure. Natürlich ist es nicht einerlei, welche von diesen Flüssigkeiten angewendet wird; die Zusammensetzung des zu untersuchenden Gewebes und die allgemeine Wirkungsweise der einzelnen Flüssigkeiten geben hier den Ausschlag. Auch darf man nicht vergessen, dass jene Flüssigkeiten physikalische und chemische Veränderungen in den Geweben herbeiführen; daher man immer auf der Hut sein muss, Kunstproducte in den zusammensetzenden Theilen als einen natürlichen Zustand zu betrachten.

Verdünnter Weingeist von 10⁰ bis 15⁰ bringt unter diesen Flüssigkeiten die wenigsten Veränderungen hervor, und namentlich kann derselbe mit Nutzen bei vielen Organen angewendet werden, die zum grösseren Theil aus Fasern zusammengesetzt sind. Die Gewebe werden zwar dadurch nicht eigentlich hart, aber doch so fest, dass man mit Hülfe eines scharfen Rasirmessers ziemlich dünne Schnitte herzustellen im Stande ist, z. B. vom Uterus, von den Ovarien u. s. w. Will man stärker erhärten, so kann man einen stärkeren Weingeist nehmen; nur schrumpfen die Theile dann mehr oder weniger zusammen Indessen lässt sich dies grösstentheils verhüten, wenn man die von Stilling empfohlene Methode befolgt, welche darin besteht, dass man den zu erhärtenden Theil zuerst in gewöhnlichen verdünnten Weingeist bringt, nach einiger Zeit aber in stärkeren und endlich in den stärksten, soviel möglich wasserfreien Alkohol. Die Zeit, wie lange jede dieser Flüssigkeiten in Anwendung kommen muss, hängt natürlich ganz vom Umfange des Theils ab, und deshalb lassen sich keine positiven Vorschriften darüber aufstellen. Bei dieser Methode erlangen Gehirn und Rückenmark eine solche Härte, dass man daraus gleich dünne und durchsichtige Schnitte bekommen kann, wie aus getrockneten Theilen. Es läuft aber dieses Verfahren auch wirklich auf eine Art Trocknung hinaus, denn es coagulirt nicht bloss das Eiweiss, sondern der Alkohol nimmt zugleich das im Gewebe enthaltene Wasser auf. Während aber durchs blosse Trocknen die Elementartheile zusammenfliessen und das Gewebe dadurch ganz formlos und unkenntlich wird, bleiben sie hier gehörig von einander ge-

sondert, so dass man sie in ihrer relativen Lagerung ganz gut erkennen kann, wenngleich sie natürlich durch die Alkoholeinwirkung etwas von der feineren Structur verloren haben.

Zur Untersuchung des Rückenmarkes hat auch Clarke die Erhärtung durch Weingeist empfohlen, die genommenen Schnitte behandelt er dann mit einer Mischung aus 1 Theil Essigsäure und 3 Theilen Weingeist. Eine viel grössere Durchsichtigkeit erzielt er aber auf folgende Weise. Die Schnitte werden erst in eine Mischung von Essigsäure und Weingeist gelegt und nach ein paar Stunden in blossen Weingeist, worin sie eben so lange bleiben, hierauf aber bringt man sie in Terpentinöl, welches den Weingeist in der Form dunkeler Kugeln oder Tropfen austreibt und die Schnitte durchscheinend macht, die man zuletzt mit Canadabalsam bedeckt.

Das bei diesem Verfahren vorschwebende Ziel, nämlich Beförderung der Durchsichtigkeit des Präparats, wird dadurch freilich erreicht, nur ist der Nachtheil damit vergesellschaftet, dass gerade in Folge dieser grossen Durchsichtigkeit viele feinere Einzelnheiten sich der Wahrnehmung entziehen. Es eignet sich aber dieses Verfahren ganz gut dazu, bei einer geringen Vergrösserung eine allgemeine Uebersicht über das Gefüge zu verschaffen.

Zur Untersuchung der feinern Textur ist es übrigens erspriesslicher, man befeuchtet die in Weingeist erhärteten Schnitte mit einer Auflösung von Chlorcalcium, deren sich Schroeder van der Kolk zuerst zu diesem Zwecke bedient hat. Doch ist dabei immer eine mässige Compression des Präparats erforderlich. Auch Glycerin habe ich dazu manchmal mit Vortheil benutzt.

Thierische Gewebe schrumpfen auch in einer Sublimatsolution zusammen. Ueberdiess werden sie aber dadurch so undurchsichtig, selbst bei grosser Verdünnung der Solution, dass man nur selten zu diesem Erhärtungsmittel greift. Nur in einem Falle verdient der Sublimat vor anderen Flüssigkeiten den Vorzug, wenn man nämlich die Capillaren mit den noch darin enthaltenen Blutkörperchen untersuchen will, weil unter allen Substanzen der Sublimat, soviel mir bekannt, die geringsten Veränderungen in den Blutkörperchen erzeugt. Es darf aber die Solution nur $^1/_{100}$ bis $^1/_{50}$ Sublimat enthalten.

Salpetersäure ist auch in manchen Fällen brauchbar, z. B. zur Untersuchung der Krystalllinse. Doch muss die concentrirte Säure vorher mit 4 bis 5 Theilen Wasser verdünnt werden, und die Krystalllinse zieht man, bevor man Durchschnitte macht, wiederum mit Wasser aus, um die Säure zu entfernen, weil sonst durch diese die Messer würden angegriffen werden. Auch zur Zergliederung sehr kleiner Embryonen kann die Salpetersäure nach Rusconi (*Annales des Sc. natur. Avril* 1841) benutzt werden. Man befeuchtet die Embryonen mit einer mit 8 Theilen Wasser verdünnten Säure.

Auf die Chromsäure haben zuerst Jacobi und dann Hannover (Müller's Archiv 1840, S. 549) aufmerksam gemacht; dieselbe ist für

viele Fälle sehr brauchbar. Im sehr verdünnten Zustande, wo die Chromsäuresolution eine strohgelbe Farbe hat, ist sie zum Härten des Rückenmarks, des Gehirns u. s. w. zweckdienlich. Ist sie etwas concentrirter, so vermag sie eiweisshaltige Flüssigkeiten, die in Höhlen eingeschlossen sind, z. B. die Glasfeuchtigkeit des Auges, zu coaguliren, so dass es möglich wird, die Häute zu entdecken, wodurch solche Höhlen fächerig abgetheilt werden. Nur kommt noch der Umstand in Betracht, dass alle von der Chromsäure durchzogenen Organe eine gelbgrüne Färbung bekommen. In einzelnen Fällen ist dies allerdings vortheilhaft, namentlich wird die Sichtbarkeit sehr dünner Membranen dadurch befördert. Dickere Theile verlieren aber dadurch viel von ihrer Durchsichtigkeit.

Mit der letztgenannten Unvollkommenheit sind die beiden Flüssigkeiten nicht behaftet, welche von Purkinje und später auch von Pappenheim (Simon's Beiträge zur phys. u. pathol. Chemie u. Mikroskopie, 1843, S. 499) zur Erhärtung thierischer Substanzen empfohlen wurden, nämlich das kohlensaure Kali und der Holzessig. Beiden kommt die Eigenschaft zu, dass sie weiche thierische Gewebe knorpelartig hart machen, und sie würden sich ganz gut zu diesem Zwecke benutzen lassen, wenn der Grund dieses Festwerdens nich gerade in einer chemischen und physikalischen Veränderung gelegen wäre, welcher die Elementartheile durch Einwirkung dieser beiden Flüssigkeiten unterliegen.

Bei den mit diesen Substanzen angestellten Versuchen habe ich mich davon überzeugt, dass 1 Theil kohlensaures Kali auf 4 Theile Wasser zur Erhärtung der Gewebe im Allgemeinen ganz ausreichend ist, indem man ganz dünne Schnitte von den damit behandelten Theilen bekommen kann, und dass diese Solution nicht mehr mit Vortheil angewendet wird, wenn das Verhältniss der beiden Bestandtheile nicht wenigstens wie 1 : 8 ist. Untersucht man die Einwirkung dieser ziemlich concentrirten Solution auf die Gewebe, so findet man, dass viele Elementartheile, namentlich Bindegewebe, Sehnen, Haut, Nervenröhren, Blutgefässwandungen u. s. w. wenig oder gar nicht dadurch angegriffen werden. Alle jene Theile dagegen, die grösstentheils aus Proteïnverbindungen bestehen, die Primitivfasern der willkürlichen und unwillkürlichen Muskeln, der Inhalt fast aller Zellen u. s. w. erfährt dadurch eine starke Ausdehnung, so dass die faserigen Theile ganz verschwinden und die Zellmembranen durch die starke Ausdehnung verdünnt und schwer erkennbar werden. Die Erstarrung der Organe durch kohlensaures Kali rührt daher gerade von dem Aufschwellen der proteïnhaltigen Elementartheile her, und der Grad von Erhärtung, in welchen ein Organ versetzt wird, hält gleichen Schritt mit dem Proteïngehalte. Man begreift aber leicht, dass dies nicht in allen Fällen vortheilhaft sein kann. Wenn daher auch das kohlensaure Kali zwischendurch anwendbar ist, so kann es doch nicht ohne Unterschied als allgemeines Erhärtungsmittel empfohlen werden; denn um einzelne Elementartheile deutlich zu sehen, muss man dabei stets die genaue Beobachtung anderer zusammensetzen-

der Theile des nämlichen Organs opfern. Es wird übrigens kaum nöthig sein, die Fälle einzeln aufzuzählen, wo dieses Mittel wirklichen Nutzen bringen kann; die vorstehende kurze Skizze der Einwirkung auf die wichtigsten Elementarbestandtheile der weichen thierischen Gewebe enthält hierzu bereits die nöthige Anweisung. Ich füge nur noch hinzu, dass Schnitte aus Theilen, welche mit kohlensaurem Kali durchzogen waren, sorgfältig mit Wasser ausgespült und auch mit Wasser unters Mikroskop gebracht werden müssen, weil das starke lichtbrechende Vermögen der Kalisolution die Elementartheile sonst zu durchsichtig macht, so dass sie nur schwer wahrzunehmen sind.

Die andere von Purkinje empfohlene Flüssigkeit, der Holzessig nämlich, scheint mir für die meisten Untersuchungen thierischer Gewebe ganz und gar nicht zu passen. Sie bekommen zwar damit die nöthige Härte und werden nach dem Trocknen selbst hornartig, was bei dem kohlensauren Kali nicht geschehen kann, weil dieses die Wasserdünste aus der Luft anzieht. Damit vergesellschaftet sich aber eine Umänderung fast aller Elementartheile, namentlich der leimgebenden Gewebe, des Bindegewebes, der Haut, der Sehnen, der Bänder. Auch verschwinden die Zellenwandungen grösstentheils gänzlich, und das stärkere Hervortreten der Kerne ist keineswegs ein Ersatz dafür. Die Ursache der Erhärtung ist hier also in gewisser Beziehung die umgekehrte, wie bei Einwirkung des kohlensauren Kalis. Letzteres bewirkt ein Aufschwellen der proteïnhaltigen Bestandtheile; der Holzessig dagegen dehnt alle zu den leimgebenden Geweben gehörigen Theile stark aus, ohne die proteïnhaltigen ganz zu verschonen, und so sind die dadurch hervorgebrachten Umänderungen zu bedeutend, als dass nach seiner Anwendung über die normale Structur eines Organs noch ein Urtheil gefällt werden könnte.

306 Aus der vorstehenden Uebersicht der verschiedenen Hülfsmittel, mittelst deren man Durchschnitte von weichen Geweben bekommt, ersieht man, dass weder das Trocknen noch die Behandlung mit einer erhärtenden Flüssigkeit für alle Fälle passend erachtet werden kann, und dass jede Methode ihre besonderen Vortheile und Nachtheile hat. Man wird daher bei einzelnen Untersuchungen am besten verfahren, wenn man sich nicht auf eine einzige Methode beschränkt, sondern nach der Art des Objects eine bestimmte Auswahl trifft, oder auch mehr als eine Methode in Anwendung bringt, und dann schliesslich die immer nur theilweise brauchbaren Resultate der verschiedenen Beobachtungen unter einander vergleicht, um zu einem durchgreifenden Schlusse zu gelangen.

Am besten wäre es aber, wenn man ein Mittel hätte, aus ganz frischen Geweben hinlänglich dünne Schnitte anzufertigen. Dazu sind nun die Doppelmesser von Gerber und Valentin bestimmt, welche weiter oben (S. 364) beschrieben wurden, zugleich mit den von mir daran angebrachten Veränderungen. Zuverlässig ist das Doppelmesser in manchen Fällen ein sehr brauchbares Instrument; nur darf man nicht

glauben, dass es überall und immer anwendbar ist. Sind die Theile sehr weich, wie das Gehirn und Rückenmark, so hat es mir niemals gelingen wollen, damit Schnitte zu bekommen, die, ohne dass zugleich Compression angewendet wurde, vollkommen durchsichtig gewesen wären. Bei ziemlich festen, zumal faserigen Organen, wie etwa der Uterus, ist es aber ganz am Platze.

Die gehörige Benutzung des Doppelmessers erfordert besondere Rücksichten. Sind beide Klingen mittelst der Schraube in die Stellung gebracht worden, welche man für die passende erachtet, so taucht man dieselben in Wasser, so dass ihre Innenfläche ganz nass wird. Man fängt mit dem hintersten, der Hand zugekehrten Theile des Doppelmessers zu schneiden an, weil hier das Interstitium der beiden Klingen am kleinsten ist, und zieht das Messer mit einem Schnitte unter sanftem Drucke gegen sich; denn wollte man beim Schneiden hin- und herfahren, so würde der bereits zwischen beide Messer gefasste Theil dadurch zerrissen werden. Durch Lockern der Schraube entfernt man hierauf die beiden Klingen von einander und den an der einen Klinge haftenden Schnitt spült man mit etwas Wasser ab.

Die auf S. 365 beschriebene Doppellancette ist gut zu gebrauchen, wenn nahe der Oberfläche eines Organs, wo das Doppelmesser nicht gehörigen Widerstand finden würde, Durchschnitte genommen werden sollen. Dieselbe kann aber auch in den meisten anderen Fällen benutzt werden, und sie ist im Besonderen zu gebrauchen, wenn die Theile locker unter einander zusammenhängen, so dass sie durch die schneidende Bewegung des Messers leicht aus ihrer Stelle verrückt werden können. Denn mit der Doppellancette werden die Durchschnitte ausgestochen und nicht ausgeschnitten.

Der daselbst ebenfalls erwähnte Doppelmeisel wird besonders benutzt, um Durchschnitte aus härteren Gebilden zu gewinnen, aus Knorpel, aus den meisten Pflanzenorganen u. s. w. Bei seiner Anwendung kommt das zu durchschneidende Object auf eine Korkplatte zu liegen und der Doppelmeisel wird dann unter einer schaukelnden Bewegung hineingedrückt.

Was soeben vom Doppelmesser angegeben wurde, das gilt auch von der Doppellancette und dem Doppelmeisel; ihre Blätter müssen nämlich, bevor sie in Gebrauch kommen, mit Wasser benetzt werden.

Um von sehr harten Geweben, wie Knochen, Zähne u. s. w., Durchschnitte zu bekommen, wird auch eine Doppelsäge Anwendung finden können. Ich selbst kann aus eigener Erfahrung nichts darüber sagen; aber nach einer mündlichen Mittheilung von Bruch, der ein solches Instrument besitzt, entspricht dasselbe seinem Zwecke recht gut.

Es versteht sich von selbst, dass diese verschiedenen Instrumente 307
nur dann Anwendung finden können, wenn das Organ eine gewisse Dicke besitzt, so dass es bei der Trennung hinreichenden Widerstand leistet.

Soll dagegen ein oberflächlicher Schnitt genommen werden, was oftmals gerade sehr wichtig ist, weil man alsdann deutlich die Stelle übersieht, von welcher der Schnitt kommen soll, so sind diese Instrumente ganz unbrauchbar.

Ist ein gewöhnliches Scalpell oder ein Rasirmesser wegen der Weichheit des Gewebes in einem solchen Falle nicht zu benutzen, so kann man ganz gut eine Lanzette nehmen, oder noch besser das unter Fig. 126 (S. 363) abgebildete Instrument. Die Spitze desselben wird vorher mit Wasser befeuchtet, flach unter die Oberfläche eingestochen und parallel derselben fortgeschoben; löst sich dann der abgetrennte Lappen nicht von selbst, so hilft man mit einer Scheere nach. Die Fälle, wo dieses Verfahren mit Vortheil in Anwendung gebracht werden kann, kommen in der feinen Anatomie der thierischen Organe sehr häufig vor, und mir scheint ein solches Messerchen für derartige Untersuchungen weit weniger entbehrt werden zu können als das Doppelmesser, dessen Benutzung sich immer nur auf einige wenige Fälle beschränken wird.

308 Unter den zur Anfertigung von Durchschnitten benutzten Instrumenten nenne ich hier der Vollständigkeit halber noch den Hobel, der von Pappenheim (Simon's Beiträge u. s. w. 1843, S. 498) empfohlen worden ist. Natürlich eignen sich dafür nur solche Theile, die an und für sich hornartig oder künstlich erhärtet sind. Der Hobel gewährt den Vortheil, dass man sehr grosse Schnitte damit erhalten kann und dass sich eine Reihe auf einander folgender Schnitte in kurzer Zeit damit herstellen lässt. Die Fälle indessen, wo er vor anderen Instrumenten den Vorzug verdient, werden nicht gerade häufig vorkommen, zumal da, wie Pappenheim selbst zugesteht, die damit gewonnenen Schnitte sich nicht wohl eignen, die feinsten Details wahrzunehmen, was doch bei den meisten mikroskopischen Untersuchungen als die Hauptsache zu betrachten ist.

309 Gleichwie bei vielen weichen Gegenständen wegen des geringen Widerstandes, den sie dem Messer bieten, Vorkehrungen und Hülfsmittel nöthig sind, um Durchschnitte zu bekommen, so giebt es wieder andere, wie Knochen, Zähne, Korallen, Muschelschalen, Fossilien u. s. w., die wegen ihrer Härte und der damit verbundenen Zerbrechlichkeit sich nur schwer in feinen Schnitten darstellen lassen. Bei diesen muss man wieder zu anderen Hülfsmitteln greifen, und diese sind doppelter Art.

Enthält das Gewebe eine hinreichende Menge organischer Substanz, die nach dem Ausziehen der anorganischen Bestandtheile noch im Zusammenhange verbleibt, z. B. Zähne und Knochen, weniger dagegen Korallen und Muscheln, so kann man die Körper durch Salpetersäure oder Salzsäure von den anorganischen Bestandtheilen befreien; nur darf man nicht zu concentrirte Säuren nehmen, weil durch eine zu rasche und kräftige Einwirkung der Zusammenhang der Theile leicht gelöst wird.

Hat die dabei stattfindende Gasentwickelung nach einigen Stunden aufgehört, dann wird die Säure abgegossen und durch Wasser ersetzt, was man ein paar Mal wiederholt. Es ist dies deshalb nöthig, weil der salpetersaure Kalk oder das Chlorcalcium als zerfliessende Salze das Trocknen an der Luft unmöglich machen würden. Ist der Körper durch wiederholtes Auswaschen mit Wasser davon befreit, dann kann er auf gewöhnliche Weise getrocknet werden und man kann mittelst eines Rasirmessers oder Scalpells Schnitte davon nehmen.

Nach einer andern Methode sucht man durch Schleifen hinreichend dünne und durchsichtige kleine Plättchen herzustellen. Zu dem Ende schafft man sich erst mittelst einer Feile eine ebene Fläche an dem Körper und alsdann sägt man mit einer feinen Säge eine Lamelle von einer gewissen Dicke ab. Je dünner die Lamelle ist, um so weniger Zeit hat man nachher auf das Schleifen zu verwenden; doch kommt es dabei darauf an, aus welcher Substanz der Körper besteht. Von Knochen und Zahnwurzeln lassen sich Lamellen sägen, die nur wenig dicker als Schreibpapier sind, von Zahnkronen, Korallen, Muschelschalen u. s. w. muss man dagegen viel dickere Lamellen absägen, weil diese sonst dabei zerbrechen.

Das Schleifen nimmt man auf einem feinkörnigen Schleifsteine vor, oder noch besser auf einem ebenen Spiegelglase mit angewässertem Tripel, indem man mit einer gröberen Sorte anfängt, und erst die eine, dann die andere Fläche vornimmt, bis die Lamelle dünn genug geworden ist. Ist die Glasplatte abgespült worden, so nimmt man dann eine feinere durch Schlämmen gewonnene Tripelsorte, und sorgt immer für hinreichendes Wasser auf der Glasoberfläche. Zuletzt schleift man die dünne Lamelle noch einige Zeit blos auf der jetzt matt gewordenen Glastafel, ohne Tripel, damit die kleinen durch den Tripel bewirkten Schrammen und Furchen verschwinden.

Meistentheils, namentlich bei Zahn- und Knochenschliffen, ist es am vortheilhaftesten, wenn man aus freier Hand schleift, die Lamelle also nicht besonders befestigt, sondern einfach mit der Spitze des Zeigefingers über die Schleiffläche führt. Bei diesem Verfahren kann man während des Schleifens über die Dicke der Lamelle urtheilen, und man kann sie von Zeit zu Zeit unter das Mikroskop bringen, um zu sehen, ob man den nöthigen Grad von Durchsichtigkeit bereits erlangt hat, oder ob man noch weiter schleifen muss. Auch hat man es dann in der Gewalt, wenn die Lamelle an einer Stelle dicker ist, durch stärkeren Druck an dieser Stelle nachzuhelfen. Zum Schutze des Fingers kann man ein Leinwandläppchen darum legen, oder noch besser einen alten weichledernen Handschuh anziehen. Ist jedoch die Lamelle gar zu klein oder ist die Substanz derselben gar zu zerbrechlich, z. B. die Schalen von Weichthieren, dann muss man dieselbe mittelst Siegellacks auf einen Griff von passender Form aufkleben. Nach dem Schleifen wird dann die Lamelle mittelst Alkohols von dem Siegellack gelöst.

Von fossilen Körpern, deren incrustirende Masse hauptsächlich aus kohlensaurem Kalke besteht, kann man auf diese Weise ohne sonderliche Mühe dünne Lamellen bekommen. Ist hingegen das incrustirende Element Kieselsäure, dann verlangt die Darstellung durchsichtiger Lamellen so viel Zeit und Mühe, dass man besser thut, die Arbeit einem Diamantschleifer zu übertragen, wenn ein solcher zu haben ist. Nach Mohl's (Mikrographie S. 259) Empfehlung soll man in einem solchen Falle eine dünne Messingscheibe auf eine Drehbank befestigen, dadurch mit Hülfe von Tripel eine dünne Lamelle des Körpers abschneiden, die man dann auf eine Glasscheibe befestigt, mit feinem Tripel schleift und endlich polirt. Ich selbst habe darüber keine Erfahrung.

310 Ein Hauptpunkt, auf den es zum Gelingen jeder anatomischen Untersuchung mehr oder weniger ankommt, ist der, dass die zu untersuchenden Körper von den benachbarten und umgebenden gehörig isolirt werden; hierauf beruht eigentlich die ganze praktische Anatomie. Es ist natürlicher Weise nicht möglich, hierüber allgemeine Vorschriften zu geben, denn je nach der Beschaffenheit des zu untersuchenden Körpers müssen verschiedenartige Methoden eingeschlagen werden, die man grösstentheils auch nur durch eigene Uebung erkennen kann. Wenn daher auch die feinere Anatomie der kleineren Thiere, der Insecten, der Weichthiere, der Entozoen, der Infusorien u. s. w., ganz der mikroskopischen Untersuchung anheimfällt, so gestattet doch der mehr allgemeine Charakter dieses Werkes nicht, hier in Besonderheiten einzugehen über die verschiedenen zu befolgenden Methoden, wodurch ihre Organe zum Behufe der Untersuchung gehörig blosgelegt werden können. Ich verweise nur auf das, was oben (S. 377) über die Art und Weise der Befestigung solcher Körper gesagt worden ist, um beide Hände für Messer, Nadeln, Scheeren u. s. w. frei zu haben, und füge nur noch hinzu, dass in einem solchen Falle immer unter Wasser zergliedert werden muss, weil die Theile sich darin bequemer ausbreiten lassen, und dass man je nach den Umständen das blosse Auge, die Lupe, das einfache oder das bildumkehrende Mikroskop benutzen kann. Will man einen abgetrennten Theil, um ihn unter stärkerer Vergrösserung zu sehen, unter das zusammengesetzte Mikroskop bringen, so legt oder hält man ein Objecttäfelchen unter die Oberfläche des Wassers, schiebt das Object darauf und bringt dieses nun leicht in die Lage, welche sich zur mikroskopischen Untersuchung am besten eignet. In dieser Lage verbleibt es aber, wenn das Objecttäfelchen mit dem aufliegenden Objecte aus dem Wasser genommen und das überflüssige Wasser entfernt wird. In gleicher Weise müssen dünne thierische Häute, Durchschnitte zarter Gewebe u. s. w., auf die Objecttäfelchen gebracht werden; denn ohne dieses Hülfsmittel gelingt es selten, dieselben ohne Quetschung gehörig auszubreiten.

Bei sehr vielen mikroskopischen Untersuchungen, namentlich bei den Untersuchungen thierischer Gewebe, hat man einen doppelten Zweck: zuerst will man das Gewebe im Ganzen übersehen, nämlich den Zusammenhang der dasselbe zusammensetzenden Elementartheile, und zweitens will man die Bildung dieser Elementartheile selbst kennen lernen. Den erstgenannten Zweck kann man selbst wieder auf zweierlei Art erreichen: ist die Durchsichtigkeit, wie bei häutigen Gebilden, gross genug, dann bringt man einen kleinen Theil davon unmittelbar unter das Mikroskop; ist dieses aber nicht der Fall, so nimmt man dünne Schnitte vom Körper. Mittelst dieser allgemeinen Untersuchung kommt man aber in der Regel noch nicht dazu, dass man die zusammensetzenden Elementartheile gut wahrnimmt; denn diese liegen zu gedrängt auf einander, um sie deutlich genug zu unterscheiden. An Quer- und Längsschnitten von Muskeln, von Nerven u. s. w. wird man z. B. recht gut erkennen können, wie die Primitivbündel und die Primitivröhren verlaufen, wie das Bindegewebe die Bündel umgiebt, oder wie die Blutgefässe, wenn diese injicirt sind, sich zwischen den Theilen verbreiten; um aber den Bau der Primitivbündel und der Primitivröhren selbst zu erkennen, muss man sie nothwendig getrennt und für sich allein daliegend haben. Das Gewebe muss deshalb aus einander gezerrt werden. Man legt zu diesem Ende einen kleinen Theil desselben auf ein Objecttäfelchen, befeuchtet es mit Wasser und zerrt es mit ein paar Nadeln aus einander, entweder mit blossem Auge oder auch nöthigenfalls unter der Lupe, wenn z. B. die Malpighischen Körperchen der Nieren oder die Ganglienzellen der Nerven u. s. w. isolirt werden sollen. 311

Um die zusammensetzenden Elemente der Pflanzengewebe kennen zu lernen, kann es bisweilen ebenfalls gut sein, die Theile zu isoliren. In den meisten Fällen indessen ist ihr Zusammenhang zu fest, als dass man sie, wie die thierischen Theile, mit ein paar Nadeln aus einander zerren könnte. Manchmal kommt uns die Natur dabei zu Hülfe, indem die äussersten Schichten, wodurch die Zellenwände unter einander zusammenhängen, verschwinden. Das tritt z. B. beim Reifwerden vieler Früchte ein, wo diese Lage aus Pectose besteht; dieselbe wird allmälig in eine der löslichen Substanzen umgewandelt, welche zu dieser Reihe gehören. Auch bei beginnender Verwesung, namentlich bei der trocknen Verwesung, hat man häufig Gelegenheit, die Elementartheile isolirt und sonst fast ganz unverändert zu beobachten. Meistens jedoch muss man zu künstlichen Hülfsmitteln greifen, die sich wieder nach der besondern Art des Gewebes zu richten haben. 312

Das einfachste Mittel ist, dass man das Gewebe mit Wasser kocht; bei vielen Parenchymgeweben, die aus grossen dünnwandigen Zellen bestehen, ist dieses Kochen ausreichend. Die Lockerung der Zellen wird befördert, wenn man dem Wasser eine vegetabilische Säure oder ein ätzendes Laugensalz zusetzt. Es lässt sich übrigens nicht für alle Fälle

bestimmen, wie viel Kali oder Natron dazu erforderlich ist; je weiter die Verholzung der Zellenwand fortgeschritten ist, um so gesättigter müssen die Auflösungen sein. Die Cellulose wird durch diese Behandlung mit Alkalien nicht angegriffen und lässt sich auch weiterhin noch durch Zusatz von Jodtinctur kenntlich machen, die Pectose und die Cutose dagegen verschwinden.

Bei verholzten Geweben kommt man am schnellsten zum Ziel, wenn man sie mit Salpetersäure kocht, entweder allein mit blosser Salpetersäure (Brogniart), oder mit etwas chlorsaurem Kali versetzt (Schultz). Dünne Schnitte werden dadurch schon innerhalb weniger Secunden so aufgelockert, dass sie bei der geringsten Berührung zerfallen. Wenn daher die Flüssigkeit in einem kleinen Kolben soeben gekocht hat, so giesst man sie mitsammt den darin enthaltenen Durchschnitten in eine reichliche Quantität Wasser aus, dann aber fischt man die Schnitte mit einem untergeschobenen Glasplättchen auf und kann sie nun mit ein paar Nadeln aus einander zerren. Bei dieser Behandlung findet offenbar eine Oxydation der Cutose in den oberflächlichsten Schichten statt, wodurch die verholzten Zellen mit einander in Verbindung stehen. Man bemerkt ein schwaches Aufbrausen in dem Gewebe, und sobald dieses eintritt, muss man mit der Säureeinwirkung aussetzen. Trifft man hierbei den rechten Moment, so ist das Gefüge der Zellenwände wenig oder gar nicht verändert worden, die Cellulose aber hat eine chemische Umwandlung in Pyroxyline erfahren. Auch sind die Zellenwände dadurch weit weniger lichtbrechend geworden.

Es versteht sich aber von selbst, dass Beobachtungen an solchen durch chemische Hülfsmittel isolirten Zellen immer mit der Betrachtung der blos mit Wasser befeuchteten Gewebe gepaart gehen müssen, weil man sonst leicht Gefahr läuft, Kunstproducte als wirklich vorhandene Bestandtheile des Objects anzusehen.

313 Wenn nun auch das Wasser unter den verschiedenen Flüssigkeiten die allgemeinste Anwendung findet, so darf man doch nicht vergessen, dass dasselbe keineswegs ausschliesslich und in allen Fällen den Vorzug verdient. Weiter oben (S. 343) habe ich schon angegeben, dass das Gefüge vieler Körper sich nur dann erkennen lässt, wenn sie in stärker brechende Medien kommen. Ganz besonders kommt aber hier der Einfluss in Betracht, welchen das Wasser vermöge der Endosmose auf die Form mancher zarten, häutig begrenzten organischen Körper ausübt, und ich erinnere deshalb an die weiter oben aufgestellte Regel, dass die organischen Körper so viel möglich in jenem Zustande unter das Mikroskop gebracht werden müssen, worin sie sich während des Lebens befanden. Da nun jene Flüssigkeiten, welche die Theile umspülen oder in den Theilen enthalten sind, stets wässerige Solutionen von Eiweiss, Zucker, Gummi u. s. w. darstellen, niemals dagegen reines Wasser sind,

so werden auch derartige Solutionen oftmals den Vorzug vor reinem Wasser verdienen. Aus Erfahrung kennt man aber schon mit ziemlicher Sicherheit die meisten Fälle, wo jene Einwirkung des Wassers auf die Elementartheile zu fürchten ist und wo andererseits auch nicht die geringste Veränderung durch dieselben hervorgerufen wird. So kann man bei fast allen Untersuchungen von Pflanzengeweben unbedenklich reines Wasser verwenden; nur bei sehr jungen, in den ersten Entwickelungsstadien befindlichen Theilen ist es rathsamer, eine sehr verdünnte Zucker- oder Gummisolution (1 auf 50 Theile Wasser) zu benutzen. Unter den thierischen Theilen sind es alle echten Fasergewebe, d. h. das Muskel-, Sehnen-, Band-, Bindegewebe u. s. w., auf welche das Wasser keinen merklichen Einfluss äussert; auch wirkt es nicht auf die platten bandförmigen Fasern der Krystalllinse, nicht auf die Knorpelzellen, wenngleich die Intercellularsubstanz des Knorpels das Wasser reichlich aufsaugt, und dadurch ausgedehnt wird, wie man recht auffallend an Durchschnitten der knorpeligen Luftröhrenringe sehen kann. Dass die härteren thierischen Gewebe, wie Knochen, Zähne, Schuppen, Haare, Federn u. s. w., durch Zusatz von Wasser keinerlei Veränderung erleiden, braucht wohl kaum besonders bemerkt zu werden.

Zu den Elementartheilen, worauf Wasser einen schädlichen, die Form mehr oder weniger zerstörenden Einfluss ausübt, können im Allgemeinen alle jene gezählt werden, welche aus einem sehr zarten Umhüllungshäutchen und einem eingeschlossenen Inhalte bestehen, und wo der letztere organische Substanzen in ziemlich concentrirtem Zustande führt, im Allgemeinen also alle jüngeren dünnwandigen Zellen und Röhren. Man muss aber dabei noch einen Unterschied machen. Das Wasser übt nur einen geringen Einfluss auf alle Epithelialzellen, auf die Pigmentzellen, die Leberzellen, die Capillaren, falls diese nicht zu den allerfeinsten gehören. Eingreifender wirkt es auf die Nervenprimitivröhren, namentlich auf jene vom Rückenmark und Gehirn. Die Blutkörperchen aber und die Elemente der Netzhaut bekommen fast unmittelbar nach der Befeuchtung mit Wasser eine von der früheren ganz abweichende Gestalt; die ersteren darf man daher nur in Blutserum untersuchen, und die letzteren darf man nur mit der Glasflüssigkeit des nämlichen Auges befeuchten, wenn sie keine Veränderungen erleiden sollen.

Nicht gar selten tritt der Fall ein, dass in den angefertigten Präpa- 314
raten pflanzlicher oder thierischer Gewebe Substanzen vorkommen, durch deren Menge die Untersuchung des eigentlichen Gewebes sehr erschwert wird, und die deshalb vor Allem weggeschafft werden müssen. Die wichtigsten derartigen Körper sind Luft, Amylum, Milchsaft, Fett und Krystalle verschiedener Salze.

Die Luft, welche die meisten Intercellularräume und die Gefässe anfüllt, ist in ihrem Brechungsvermögen ganz verschieden von der umge-

benden Flüssigkeit, und deshalb bildet sie schwarze Streifen oder grössere schwarze Massen von verschiedenartiger Form und Ausbreitung. Um das erste Entstehen solcher Intercellularräume und Gefässe zu erkennen, kann das Vorkommen von Luft in denselben recht gut benutzt werden; später jedoch, wenn jene Räume und Gefässe sich bereits gehörig entwickelt haben, wird eine genaue Beobachtung erst dann möglich, wenn die Luft auf andere Weise daraus entfernt worden ist. Das einfachste und niemals versagende Mittel besteht darin, dass man die gemachten Durchschnitte ein paar Stunden in ausgekochtem Wasser liegen lässt. Wünscht man indessen eine schnellere Entfernung der Luft, dann kann man sich auch auf andere Weise helfen. Wenn die Natur des Gewebes solches gestattet, so genügt es oftmals schon, wenn man mit dem platten und schmalen Scalpellstiele etwas auf das mit Wasser befeuchtete Präparat schlägt. Auch das Eintauchen des Durchschnitts in starken Alkohol ist gut. Nur passt dieses Mittel nicht bei jüngeren Geweben, weil das Eiweiss dadurch coagulirt und die Undurchsichtigkeit zunimmt.

Wenn die Zellen zahlreiche Amylumkörner oder Krystalle enthalten, die beim theilweisen Durchschneiden der Zellenwände sich in der umgebenden Flüssigkeit ausbreiten und dadurch die Deutlichkeit der Beobachtung stören, so muss man dieselben zu entfernen suchen, indem man das Präparat in Wasser abspült, oder, wenn es dazu gar zu dünn ist, indem man es auf ein Objecttäfelchen bringt, welches dann schief gehalten wird, während man tropfenweise Wasser darüberlaufen lässt. Manchmal kann es auch gut sein, wenn man mit verdünnten Mineralsäuren benetzt, oder mit einer Solution von Aetzkali oder Natron. Durch diese Mittel schwellen die Amylumkörner so stark auf und sie werden dabei so durchsichtig, dass sie sich der Sichtbarkeit entziehen. Nur darf man nicht vergessen, dass dadurch einige Veränderungen in den Zellenwandungen selbst entstehen können.

315 Hat man mineralische Substanzen, Gesteine, Felsarten u. s. w., zu untersuchen, worin Ueberbleibsel kleiner Organismen vorkommen, wie Entomostraceen, Foraminiferen, Diatomeen u. s. w., so ist es meistens nöthig, dass dieselben erst gepulvert werden. Bewirkt man nun aber dieses Pulverisiren durch Stossen in einem Mörser, oder durch Abkratzen mit einem Messer, oder auf andere mechanische Weise, so läuft man Gefahr, die zarten Kalk- oder Kieselschalen auch mit zu zerbrechen. Dies verhütet man durch folgendes Verfahren, welches ich Herrn A. G. W. van Riemsdyk verdanke und dessen ich mich schon einige Male mit gutem Erfolge bedient habe. In einer Quantität kochenden Wassers wird so viel schwefelsaures Natron aufgelöst, als das Wasser aufzunehmen vermag. Man wirft dann die Steinstückchen hinein, die man in Pulverform bringen will und lässt die Solution sich ruhig und langsam abkühlen. Besitzt das Gestein hinreichende Porosität, so dass Flüssigkeit eindringen kann, so wird durch das spätere Krystallisiren des Salzes der Zu-

sammenhang gelöst und der Stein zerfällt theilweise oder auch ganz in Pulver. Dieses Pulver besteht nun noch aus gröberen und feineren Theilen und lässt sich weiterhin durch Schlämmen mit Wasser noch in verschieden feine Theile trennen, worin sich die organischen Reste nach Maassgabe ihres verschiedenen specifischen Gewichtes sammeln und leicht wieder erkennen lassen. Zur mikroskopischen Untersuchung wird etwas von dem noch feuchten Pulver mittelst eines Pinsels auf ein Objecttäfelchen ausgebreitet; man lässt es trocknen, bringt dann Canadabalsam darauf und hält das Täfelchen noch einige Augenblicke über eine Alkoholflamme, damit sich der Balsam gehörig ausbreitet.

Will man das noch übrige Pulver aufbewahren, so ist es rathsam, um das Zusammenbacken und zugleich auch das Entstehen von Schimmel zu verhüten, man giesst etwas Weingeist auf die noch feuchte Masse und hebt sie dann in einem gut schliessenden Fläschchen auf.

Ist nun ein Körper soweit zubereitet, dass er zur mikroskopischen 316
Beobachtung sich eignet, dann muss ein Deckplättchen (§. 295 u. 296) darauf kommen, und zwar aus zweierlei Gründen: einmal nämlich, damit nicht die Flüssigkeit verdunstet und das Objectiv dadurch beschlägt, zweitens aber auch, damit die Oberfläche des Objects eine ebene Fläche bildet.

Bei der Wahl des Deckplättchens muss man sich durch folgende Umstände bestimmen lassen: a. durch den Abstand des Objectivs vom Objecte, da natürlich bei den stärksten Objectiven nur sehr dünne Deckplättchen verwendbar sind; b. durch den Einfluss, welchen die Dicke des Deckplättchens auf den Gang der Strahlen und auf den Correctionszustand der Aberrationen ausübt (§. 161); c. durch den Widerstand, welchen das Object dem anzubringenden Drucke entgegenstellt. Manche Körper nämlich können nur einen ganz schwachen Druck vertragen und dürfen deshalb nur mit den dünnsten Glimmerblättchen oder mit Glashaut bedeckt werden; andere Körper hingegen erleiden dadurch keinen Schaden, verlangen vielmehr einen gewissen Druck, damit ihre zusammensetzenden Theile gehörig sichtbar werden.

Ist die einfache Bedeckung mit einem ziemlich dicken Deckplättchen nicht ausreichend, so muss der Druck durch mechanische Mittel vermehrt werden, und dann kann ein Druckwerkzeug oder Compressorium, wovon es verschiedene Arten giebt, deren Beschreibung aber auf das letzte Buch verspart wird, in Anwendung kommen. Wer indessen kein solches Instrument besitzt, der kann es in den meisten Fällen, wo ein allmälig zunehmender Druck gefordert wird, entbehrlich machen, wenn er mit einem gewöhnlichen Objecttäfelchen bedeckt, aber zu beiden Seiten des Objects und in einiger Entfernung davon zwischen beide Glastäfelchen etwas von einer weichen Masse bringt, z. B. von einem Gemenge aus Wachs und etwas damit zusammengeschmolzenem Terpentin. Ein gleichmässiger Druck zwischen Daumen und Zeigefinger beider Hände

kann dann aufs Vollständigste das erreichen, was man mit dem Compressorium erzielt, und ausserdem gewährt diese einfache Vorrichtung noch einen den meisten Compressorien abgehenden Vorzug, dass sie nämlich alsbald umgekehrt werden kann, um die Wirkung des Drucks auf die gegenüberstehende Seite des Objects zu untersuchen, was in vielen Fällen von wirklichem Interesse ist. Auch können die auf die angegebene Weise zubereiteten Täfelchen als mikroskopische Rolle benutzt werden, indem man sie langsam über einander schiebt, wobei die dazwischen befindliche Flüssigkeit nebst den darin enthaltenen Theilen, wie Blutkörperchen, Krystalle u. s. w., in Bewegung gerathen und somit dem Auge des Beobachters verschiedene Seiten darbieten können.

Was übrigens die Fälle betrifft, in denen ein Druck als nützlich zu erachten ist, so lassen sich darüber kaum allgemeine Regeln aufstellen, und eben so wenig über den Grad des Drucks, dem die Objecte ohne Nachtheil für die Untersuchung unterworfen werden dürfen. Das eigene Urtheil muss hier in der Regel den Entscheid geben. Vor Allem kommt es hier in Betracht, welchen Zweck man durch die Compression zu erreichen wünscht. Dieser Zweck kann aber ein dreifacher sein: a. Ein Object soll durchsichtiger werden, indem es zu einer dünneren Schicht comprimirt wird. Da die Form der Theile hierbei nothwendig eine Umänderung erfährt, so muss es als Regel gelten, dass man zu diesem Mittel nur dann seine Zuflucht nimmt, wenn andere und zuverlässigere Mittel nicht zur Anwendung kommen können. Druck ist z. B. unentbehrlich bei der Untersuchung der ersten Entwickelungsstadien von Pflanzen und Thieren, weil man hier wegen der Kleinheit und Weichheit der Theile keine Durchschnitte machen kann, und weil die vielen auf einander liegenden Schichten eine zu grosse Undurchsichtigkeit veranlassen, als dass man den Zusammenhang dieser Schichten wahrnehmen könnte. Hier hat man nur Sorge zu tragen, dass kein stärkerer Druck angewendet wird, als zum Sichtbarmachen durchaus erforderlich ist. Die Untersuchung von Gehirn und Rückenmark lässt sich auch nicht wohl ohne Druck ausführen. Gegen die Resultate dieser Beobachtungen muss man aber immer etwas misstrauisch sein, weil der Druck nothwendiger Weise künstliche Anschwellungen der Nervenröhren und ein Austreten ihres Inhalts, der sich zu kleinen Kügelchen und scheinbaren Bläschen formt, zur Folge hat. b. Der Druck soll durch seinen mechanischen Einfluss auf die Körper es möglich machen, solide und hohle Objecte zu unterscheiden, wie weiter oben (§. 282) angegeben worden ist. Auch kann man dadurch leicht ins Klare kommen, ob ein kleiner, das Licht stark brechender runder Körper, den man sieht, ein Fettkügelchen ist, oder ein Amylumkörnchen, oder ein aus anorganischer Substanz, etwa aus kohlensaurem Kalke bestehendes Gebilde. Durch Druck und gleichzeitiges Hin- und Herschieben der Glastäfelchen werden auch Falten an zwischenliegenden Häuten hervorgebracht, und das Vorhandensein der letzteren kann dann nicht mehr zweifelhaft sein. c. Ein mässiger Druck

ist das geeignetste Mittel, um sehr bewegliche Objecte, namentlich kleine Thierchen, wie Infusorien, in ihrer Bewegung zu hemmen.

Bei genauen Untersuchungen kleiner Thierchen kann man des 317
Drucks durchaus nicht entbehren, und bei einiger Uebung lernt man bald den Druckgrad kennen, den dieselben aushalten können und der doch für die Beobachtung ausreichend ist. Sind die Thierchen sehr zart, wie Infusorien, so muss zwischen das Objecttäfelchen und das Deckplättchen etwas Faseriges, wie Papier, Confervenfäden u. dgl. gebracht werden, um den Druck zu mässigen. Pouchet hat dazu ein sehr einfaches aber zweckmässiges Verfahren angegeben; in den Wassertropfen, worin sich die kleinen Thierchen befinden, legt man ein kleines Stückchen feines Nesseltuch, dieses bedeckt man mit einem Deckplättchen und so bilden dessen Maschen dann gleichsam eben so viele kleine Tröge, in denen die Thierchen stecken.

Ein anderes Verfahren kann man einschlagen, um etwas grössere Thiere, z. B. viele im Wasser lebende Larven, zur Ruhe zu bringen. Man bringt sie nämlich in einen der früher beschriebenen kleinen Tröge mit soviel Wasser, dass der Trog ganz gefüllt ist, und darauf legt man ein Deckplättchen. Das kleine Thier hat dann nach einiger Zeit die wenige im Wasser enthaltene Luft verbraucht, durch den Luftmangel wird es allmälig asphyktisch, seine Bewegungen werden immer langsamer, und hören endlich ganz auf, bis das Thierchen stirbt. Einige Zeit vor dem Tode sind nun aber die Bewegungen schon so langsam geworden, dass man nicht blos die zusammensetzenden Theile, sondern zum Theil auch deren Verrichtungen erkennen kann.

Man hat auch noch andere Mittel anempfohlen, um die Bewegungen kleiner Thiere einzuschränken. Bringt man etwas Aether oder Chloroform zur Seite eines Tropfens, worin sich Infusorien befinden, so werden die Thierchen allmälig ruhig, aber nur langsam; es reicht daher ein einzelner Tropfen nicht aus, sondern man muss einen solchen, wenn er verdunstet ist, noch zwei bis drei Mal wiederholen, ja manche kleine Thiere, z. B. aus dem Geschlecht *Anguillula* (Ehrenb.) oder *Rhabditis* (Duj.) leisten selbst dann noch eine Zeit lang Widerstand. Besser ist es, man fügt Solutionen von anderen dem thierischen Leben nachtheiligen Substanzen hinzu, von salpetersaurem Strychnin, von *Extr. Opii aquosum*, von *Aqua Laurocerasi*. Es würde aber zu weit führen, wenn ich die Wirkung dieser Flüssigkeiten auf verschiedene Thierarten genauer erläutern wollte. Es sei hier nur so viel bemerkt, dass die Wirkung eine sehr verschiedenartige ist, und somit bald das eine, bald das andere Mittel den Vorzug verdient, ohne dass sich jedoch darüber allgemeine Vorschriften aufstellen lassen. Ihre Anwendbarkeit wird übrigens immer auf bestimmte Fälle beschränkt bleiben; denn die Thiere, welche dadurch zur Ruhe gekommen sind, befinden sich niemals in ganz normalem Zustande. Die meisten sterben auch alsdann, wenn sie zur Ruhe kommen, und mit dem

Eintritte des Todes verändert sich ihre Gestalt und ihre innere Zusammensetzung. Das gilt besonders von den zarten Infusorien, deren ganze Oberfläche mit Wimperhaaren besetzt ist; diese bersten in dem Augenblicke, wo sie zur Ruhe kommen und sterben, so dass nur eine formlose Masse von ihnen übrig bleibt, worin man indessen noch einige Theile erkennt und die man dann natürlicher Weise auch genauer beobachten kann als im lebenden Zustande. Hierin stimmen alle die oben genannten Mittel mit einander überein. Dem Geübten können sie manchmal dazu verhelfen, Einzelnheiten des Gefüges mit grösserer Deutlichkeit und Sicherheit zu erkennen; dem ungeübten Beobachter gewähren sie keinen Vortheil.

318 Für andere in Bewegung befindliche Objecte sind wieder andere Mittel in Anwendung zu bringen, wenn sie gehörig gesehen werden sollen. Ich habe hierbei hauptsächlich die Bewegung der Säfte in lebenden organischen Körpern im Sinne, die Rotation des Zellensaftes und die sogenannte Cyclose bei den Pflanzen, den Blutumlauf oder die Bewegung der Ernährungsflüssigkeit bei den Thieren.

Die zuerst genannte Bewegungsart, die Rotation des Zellensaftes, ist sehr leicht wahrzunehmen: man braucht nur eine ungequetschte Pflanzenzelle, z. B. an den zarten Wurzelhaaren von *Hydrocharis morsus ranae*, von den Antherenhaaren der *Tradescantia virginica*, von den brennenden Haaren der *Urtica urens* und *Urtica dioica*, oder die Zellen der verschiedenen Arten von *Chara* und *Nitella* u. dgl., wo diese Erscheinung an den in Strömung befindlichen Körpern sichtbar ist, mit Wasser zu befeuchten und unters Mikroskop zu bringen. Nur muss dafür gesorgt werden, dass die Zellen keinen Druck durch das Deckplättchen erleiden; daher es nöthig ist, dass etwas Weiches zwischen das Deckplättchen und die Objecttafel zu liegen kommt.

Um die Saftbewegung in den Milchsaftgefässen oder die mit Unrecht sogenannte Cyclose gehörig wahrzunehmen, bedarf es einiger Vorsichtsmaassregeln. Allerdings sieht man dieselbe ohne viele Mühe in den abgebrochenen durchsichtigen Theilen mancher milchsaftführenden Pflanzen, z. B. in den Schutzblättchen von *Ficus elastica*, in den jungen Kelchblättern von *Chelidonium majus* u. s. w.; diese Beobachtungen sind aber immer unzuverlässig, weil neben der eigenthümlichen Bewegung des Milchsaftes auch noch ein Ausfliessen desselben aus den getrennten Gefässen stattfindet. Die Bewegung in den Milchsaftgefässen selbst kann deshalb nur in den mit der lebenden Pflanze noch unmittelbar zusammenhängenden Organen mit ausreichender Sicherheit untersucht werden, und es muss die Pflanze in einem Blumentopfe zur Seite des Mikroskops stehen, damit der Theil, der vermöge seiner geringen Dicke eine dem Zwecke entsprechende Durchsichtigkeit zu besitzen scheint, auf die Objecttafel des Mikroskops gebracht werden kann, ohne dass man ihm eine gezwungene Richtung giebt. Zur Verstärkung der Durchsichtigkeit em-

pfahl man früher das directe Sonnenlicht zur Beleuchtung zu nehmen; es ist aber schon oben (§. 211) angegeben worden, dass dieses sich hierzu nicht eignet, vielmehr mancherlei Täuschungen veranlasst. Gewöhnliches helles Tageslicht genügt vollkommen bei einem Mikroskope, dessen Objectiv einen grossen Oeffnungswinkel hat. Die Durchsichtigkeit kann man dadurch noch vermehren, dass man den zu untersuchenden Theil von unten und von oben mit Wasser umgiebt. Am besten eignet sich hierzu ein seichter aber ziemlich grosser Glastrog, der ganz mit Wasser gefüllt wird und den man, nachdem der Pflanzentheil hineingelegt worden ist, zum Theil mit einer Glastafel von passender Grösse bedeckt, wobei man Sorge zu tragen hat, dass die an der Oberfläche des Objects haftenden Luftblasen entfernt werden.

Um den Blutumlauf bei Thieren zu beobachten, kann man verschiedene Methoden befolgen, die alle den Zweck haben, die Muskelbewegungen des Thieres zu verhindern und das Organ, worin die Beobachtung stattfinden soll, in das Gesichtsfeld des Mikroskops zu bringen. Am liebsten werden natürlich solche Organe gewählt, die von Natur schon durchsichtig genug sind. Bei der Wahl der Mittel, um das Thier ruhig zu halten, kommt es auf dessen äussere Gestalt, auf seine Muskelkraft u. s. w. an. 319

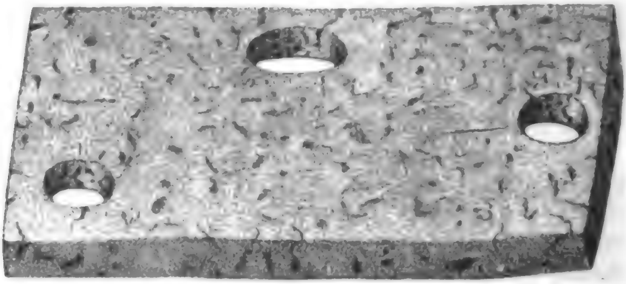
Will man den Blutumlauf im Schwanze einer Froschlarve beobachten, so braucht man nur das Thierchen mit einem Löffel aus dem Wasser zu nehmen, auf ein Stückchen feines Fliesspapier von etwa 20 Millimeter Länge und 6 Millimeter Breite zu legen, und dieses um den Körper des Thierchens zu schlagen, an dem es wegen der vorhandenen Feuchtigkeit von selbst kleben bleibt. Ist dies auf einem Objecttäfelchen geschehen, so hat man nichts weiter zu thun, als ein dünnes Glas- oder Glimmerplättchen auf den Schwanz zu legen. Hat man Sorge getragen, dass der Körper des Thierchens bei der Umwickelung mit Papier nicht zu sehr gedrückt wird, so kann man dann während einer geraumen Zeit den Blutumlauf ganz gut sehen.

Kleine Fischchen liegen manchmal lange genug still, so dass gar keine Befestigung nöthig ist. Ist dies nicht der Fall, so kann man sie ebenfalls in solches Fliesspapier wickeln; oder bei grösseren Thieren nimmt man einen baumwollenen oder leinenen Lappen, lässt aber den Schwanz oder die Flossen frei, worin man die Blutbewegung beobachtet.

Der Frosch eignet sich am besten dazu, den Blutumlauf in verschiedenen Organen zu untersuchen; hier sind aber noch einige andere Vorkehrungen erforderlich. Seit Jahren benutze ich dabei mit Erfolg eine Korkplatte (Fig. 149 a. f. S.), die etwa 13 Centimeter lang und 9 Centimeter breit und mit drei Oeffnungen durchbohrt ist, zwei runden *a* und *b*, die reichlich einen Centimeter Durchmesser haben, und einer länglichen *c*, die etwa auf 1 Centimeter Breite 2 Centimeter Länge hat. Die relative Stellung dieser Oeffnungen ist aus der Figur deutlich zu entnehmen.

Sie sind dazu bestimmt, jenen Theil darüber auszuspannen, dessen Blutumlauf beobachtet werden soll: *a* für die Zunge, *b* für die Schwimmhaut einer hinteren Extremität oder für die Lungen, *c* für die in der Bauchhöhle enthaltenen Organe.

Fig. 149.



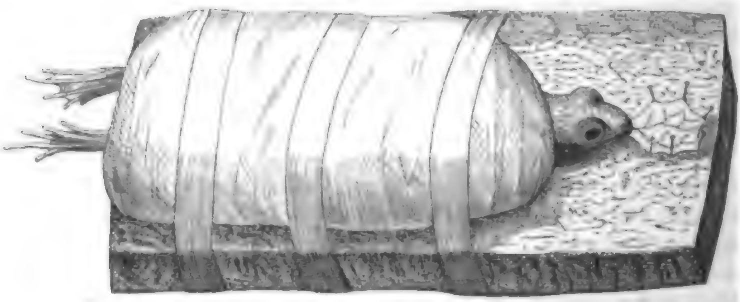
Korkplatte als Froschhalter.

Um die Bewegungen des Thieres zu verhindern, lassen sich dreierlei Mittel in Anwendung bringen:

a. Um das vorderste Glied jedes Fusses bindet man einen Faden, und nachdem das Thier in die gehörige Lage auf der Korkplatte gebracht worden ist, knüpft man die Fäden auf der andern Seite der Korkplatte zusammen. Das Thier liegt dann unbeweglich fest. Soll aber der Blutlauf in der Schwimmhaut beobachtet werden, dann darf man natürlich den Faden nicht um den Fuss legen, dessen Schwimmhaut zur Beobachtung kommen soll, sondern er muss dann an eine von den Zehen kommen. Ein einfacheres und weniger umständliches, freilich aber auch nicht von Grausamkeit frei zu sprechendes Mittel ist dieses, dass man die Beine des Thieres, statt sie durch Fäden zu befestigen, mit starken Stecknadeln auf die Korkplatte ansticht.

b. Man wickelt das Thier in einen leinenen oder baumwollenen Lappen von ziemlicher Grösse (Fig. 150). Dieses Verfahren eignet sich be-

Fig. 150.



Befestigter Frosch.

sonders zur Untersuchung des Blutumlaufs in der Zunge, und ist hierzu

zuerst von Waller (*Phil. Mag.* 1846. Oct. S. 271) empfohlen worden. Aber auch für die Beobachtung des Blutumlaufs in der Schwimmhaut ist dasselbe anzuwenden, wenn nur ausserdem um die Zehe des Fusses noch ein Faden gebunden und mittelst einer Nadel auf der Korkplatte befestigt wird. Das letztere Ziel erreicht man noch leichter auf die Weise, wenn man nach Quekett ein leinenes Säckchen nimmt, das durch eine Schnur und durch Klammern eng angezogen werden kann, so dass nur ein Fuss des Thieres frei bleibt.

c. Man ätherisirt. Dadurch erschlaffen die Muskelbewegungen, ohne dass der Blutumlauf eine wahrnehmbare Störung erleidet, und wo die Aetherisation sich anwenden lässt, da ist sie das zweckmässigste Mittel von allen. Die einfachste Anwendungsweise beim Frosche ist die, dass man ein mit Aether oder Chloroform getränktes Läppchen ein paar Minuten lang gegen das Geruchsorgan des Thieres, welches in der andern Hand gehalten wird, andrückt. Wird auch das Aetherisiren so lange fortgesetzt, dass Empfindung und Bewegung bei dem Thiere nicht wiederkehren und dasselbe ganz scheintodt ist, so dauern gleichwohl die Herzcontractionen und die Gesammtverrichtung des Gefässsystems, so weit es den Blutumlauf betrifft, stundenlang noch unverändert fort, und nichts ist leichter als die verschiedenen Organe eines in solchem Zustande befindlichen Thieres bloszulegen und mit Vorsicht aus der Brust- und Bauchhöhle herauszubringen, so dass sie über eine von den Oeffnungen in der Korkplatte zu liegen kommen. Bei der Zunge freilich lässt sich das Aetherisiren nicht in Anwendung bringen, weil alle Häute, welche mit Aetherdämpfen in Berührung kommen, getrübt und undurchsichtig werden.

Ist auf eine der drei genannten Weisen das Thier zur Ruhe gebracht, und liegt der Theil, woran der Blutumlauf beobachtet werden soll, über einer der Oeffnungen in der Korkplatte, so muss er noch durch Ausbreiten durchsichtig gemacht werden. Dazu dienen Nadeln, womit man die Ränder befestigt und in entgegengesetzten Richtungen anzieht. Hat man z. B. die Zunge mittelst einer Pincette aus der Mundhöhle herausgezogen, so wird ihre Spitze (s. Fig. 150) am gegenüberliegenden Rande der Oeffnung angesteckt. Dann werden zu beiden Seiten die Ränder der Zunge noch durch zwei Nadeln befestigt, so dass dieselbe zwar viel breiter, zu gleicher Zeit aber auch viel dünner wird. Damit für das Objectiv des Mikroskops hinlänglicher Raum übrig bleibt, müssen alle Nadeln so gesteckt werden, dass ihre Köpfe seitlich gerichtet sind. Um die Durchsichtigkeit zu vermehren und zugleich das Eintrocknen zu verhüten, wodurch der Blutumlauf aufhören würde, ist es nöthig, den Theil mit einer hinlänglichen Menge Wasser zu befeuchten und dann noch ein Glimmerblättchen oder ein kleines Glastäfelchen aufzulegen, damit die Oberfläche mehr abgeplattet wird.

Auf ganz analoge Weise verfährt man beim Ausbreiten der Lungen, der Schwimmhaut und des Gekröses. Leber und Nieren lassen sich

nicht so behandeln, oder man muss diese Organe quetschen. Indessen kann man auch an ihnen bei auffallendem Lichte den Blutumlauf noch ziemlich gut wahrnehmen, und bei durchfallendem Lichte an den immer mehr durchscheinenden Rändern; freilich, wie sich von selbst versteht, nicht so deutlich als in häutigen Theilen.

Die beschriebenen Methoden zur Untersuchung des Blutumlaufs beim Frosche dürften meines Erachtens den Leser in den Stand setzen, die Erscheinung auch bei anderen Thieren, selbst bei kleinen Säugethieren, wahrzunehmen. Das Aetherisiren ist hier ein allgemein passendes Mittel. Nur muss man den Apparat nach der Gestalt und Grösse des Thieres modificiren.

Beim Beobachten der sich bewegenden Ernährungsflüssigkeit der Insecten und der übrigen Klassen der Wirbellosen, bei denen ein Blutumlauf oder eine damit parallele Function vorkommt, läuft die Hauptsache darauf hinaus, dass man ein passendes Object wählt und an demselben wiederum die durchsichtigen Theile. Eine Aufzählung der im Besondern sich eignenden Thiere würde dem Zwecke dieser Schrift nicht entsprechen, und verweise ich daher den Leser über diesen Punkt auf Schriften, welche speciell darüber handeln. In der im Jahre 1844 von der belgischen Akademie gekrönten Abhandlung des Dr. C. Verloren (*Mémoires couronnes* T. XIX, p. 20 — 28) sind nicht weniger als 90 Insectenarten aufgezählt, bei denen Erscheinungen des Säfteumlaufes beobachtet worden sind.

320 Alle genannten Bewegungen von Flüssigkeiten in den Höhlen des lebenden Organismus, sei es Pflanze oder Thier, werden dem Auge nur dadurch sichtbar, dass sich kleine Körperchen in denselben befinden, welche zugleich mit dem Strome fortgetrieben werden. Ist die Strömung eine sehr rasche, so folgen die Gesichtseindrücke von jedem dieser Körperchen auch sehr rasch auf einander, und wohl zu rasch, als dass jeder für sich wahrnehmbar sein könnte. Denn da ein Gesichtseindruck im Mittel $^1/_8$ Secunde anhält (§. 100), so werden zwei Eindrücke, die um einen geringern Zeitraum aus einander liegen, zu Einem Eindrucke verschmelzen. Daher kommt es, dass man bei der Cyclose der Pflanzen sowohl als beim Blutumlaufe der Thiere, so lange die Strömung in voller Kraft ist, die in der Flüssigkeit mitbewegten Körperchen sehr schwer isolirt erkennt.

Das Gleiche gilt von der Flimmerbewegung, die man in so zahlreichen Fällen beobachten kann, an den Rändern der Epithelialschicht der meisten Schleimhäute, an der Oberfläche der Fangarme vieler Polypen, an den Branchien der Mollusken, bei den meisten wahren Infusorien u. s. w. Man erkennt sie in der That nicht als das, was sie wirklich ist, nämlich ein Heben und Senken dünner Härchen, sondern eher als eine Strömung in einer bestimmten Richtung längs der Ränder des Objects, und von den diese Strömung erzeugenden Härchen sieht man keine

Spur, so lange die Bewegung in der ursprünglichen Raschheit vor sich geht.

Zwei Mittel hat man in Vorschlag gebracht, um solche schnelle Bewegungen mikroskopischer Objecte zu einem scheinbaren Stillstande zu bringen, einmal nämlich die Beleuchtung durch das Licht des elektrischen Funkens, und zweitens eine sich schnell drehende und mit einer Oeffnung versehene Scheibe, welche zwischen das Object und die Lichtquelle kommt, so dass das Gesichtsfeld periodisch erhellt und verdunkelt wird. Die betreffenden Vorschläge sind bei dem gegenwärtig so raschen Fortschritte der Naturwissenschaften fast gleichzeitig von mehr denn einer Seite gemacht worden.

Die Beleuchtung durch den elektrischen Funken wurde namentlich von England aus durch Pritchard (*Microscopical Illustrations*, 3 Ed. 1845. p. 137) empfohlen, der aber diese Idee einem andern entlehnt zu haben scheint, die drehende Scheibe dagegen in Deutschland von Doppler (Zwei Abhandlungen aus dem Gebiete der Optik. 1845). Hier in Holland beschäftigte sich Dr. A. van Beek (*Tydschr. voor de Wis- en Natuurkundige wetenschappen etc.* I. p. 157) längere Zeit mit der Verwendung dieser beiden Mittel, und schon 1845 theilte mir derselbe einige Beobachtungen über deren Prüfung mit.

Die Versuche von Wheatstone haben gelehrt, dass die Dauer des elektrischen Funkens noch nicht den millionsten Theil einer Secunde beträgt, also so kurz ist, dass ein dadurch beleuchteter und in Bewegung befindlicher Körper, der innerhalb dieses verschwindenden Zeitraums seinen Platz nicht merklich verändert, scheinbar ganz in Ruhe verharren sollte. Bekanntlich bestätigt dies auch die Beobachtung schnell umgedrehter Körper, welche durch den elektrischen Funken erleuchtet werden. Für mikroskopische in rascher Bewegung befindliche Objecte benutzte Pritchard die Funken eines elektromagnetischen Rades, welches in Quecksilber tauchte. Dr. van Beek benutzte lieber die Funken einer grossen Leydener Flasche, die mit dem allgemeinen Auslader in Verbindung stand und so gestellt war, dass die Funken in Zwischenzeiten von ungefähr drei Secunden auf einander folgten. Als Beobachtungsobject wurde ein Theil der Froschzunge genommen, an deren Rändern man die Flimmerbewegung der Cilien auf der Schleimhaut recht gut sehen kann. Die Versuche wurden Abends angestellt und da zeigte es sich sehr bald, dass der rasche Wechsel zwischen einem ganz dunkeln Gesichtsfelde und einem solchen, welches während einer sehr kurzen Zeit durch den elektrischen Funken hell erleuchtet wurde, das Auge dermaassen blendete, dass jede nur einigermaassen genaue Beobachtung unmöglich fiel. Um diesen Uebelstand zu beseitigen, wurde zur Seite des Objectivs eine Kerze gestellt, so dass das Gesichtsfeld anhaltend schwach erhellt blieb, was auch noch den Vortheil gewährte, dass man das Auge immer auf jenen Punkt des Gesichtsfeldes richten konnte, wo die Flimmerbewegung stattfand. Was das Resultat dieser Versuche betrifft, so kann ich nur

die Worte des Dr. van Beek unterschreiben, dass man durch dieses Mittel die Flimmerbewegung scheinbar ganz zum Verschwinden bringen kann, dass es aber niemals dahin kommt, am Rande der benutzten Schleimhaut Härchen zu sehen. Nun unterliegt das Vorhandensein von Cilien durchaus keinem Zweifel. Aus jenen Beobachtungen lässt sich daher meines Erachtens nur so viel schliessen, dass die dabei angewendete Beleuchtungsart, wie richtig auch das dabei zu Grunde liegende Princip an sich sein mag, ganz ungeeignet erscheinen muss, eine genaue Beobachtung dabei anzustellen, da der empfangene Eindruck zu kurz ist, als dass er gehörig zum Bewusstsein gelangen und gedeutet werden könnte. Mag man auch die Anzahl dieser Eindrücke noch so sehr vervielfältigen, man gewinnt dadurch wenig oder gar nichts, weil in dem Augenblicke, wo das Gesichtsfeld erleuchtet wird, die in Bewegung befindlichen Objecte, die Cilien nämlich, sich immer in einem andern Zustande und in einer andern Richtung befinden. Es erfolgt also nicht eine Wiederholung des nämlichen Gesichtseindruckes, sondern es entstehen immer neue Eindrücke. Die früheren Eindrücke können daher nur dazu beitragen, die nachfolgenden zu verwirren, nicht aber, sie leichter zu deuten.

Das andere vorhin genannte Hülfsmittel stützt sich auf ein bekanntes von Faraday, Plateau, Stampfer und Anderen bereits früher auf andere Fälle angewandtes Princip. Wird nämlich ein in periodischer Bewegung begriffener Körper durch die Oeffnung einer schnell sich umdrehenden Scheibe betrachtet, und kommt die Schnelligkeit, womit sich diese Scheibe dreht, jener der beobachteten Bewegung gleich, oder ist sie ein Multiplum dieser letztern, dann muss das Auge das Object immer an der nämlichen Stelle und in der nämlichen Richtung sehen, so oft jene Oeffnung an dem Auge vorübergeht. Folgen nun die Eindrücke immer in einem Zeitraume auf einander, welcher kürzer ist, als die zum Verschwinden eines distincten Eindruckes nöthige Zeit von etwa $1/3$ Secunde, dann werden alle auf einander folgenden Eindrücke mit einander verschmelzen und das Object befindet sich scheinbar in Ruhe.

Doppler empfahl dazu die Sirene von Cagniard la Tour, besonders deshalb, weil man in dem vernehmbaren Tone, den dieses Instrument hervorbringt, ein Mittel hat, die Geschwindigkeit der Umdrehung zu bestimmen. Kennt man nämlich die Geschwindigkeit, welche bei der sich drehenden Scheibe erforderlich ist, um die Bewegung in einen scheinbaren Stillstand umzuändern, so ist klar, dass man zugleich auch die Geschwindigkeit der Bewegung des Objects kennt. In der That würde es nicht unerheblich sein, wenn man ein Hülfsmittel besässe, um Zeiträume messen zu können, die sich auf keine andere Weise messen lassen. Indessen scheint Doppler sein Verfahren selbst nicht in Anwendung gebracht zu haben.

Bei den Versuchen, welche Dr. van Beek hierüber mit mir angestellt hat, wurde eine Scheibe benutzt, der durch ein Räderwerk

eine schnell drehende Bewegung gegeben werden konnte. Diese Scheibe kam zwischen die Lichtquelle und den Objecttisch eines horizontal stehenden Mikroskops. Das beobachtete Object war wiederum ein Theil der Zunge eines Frosches. Aller angewandten Mühe ungeachtet gelang es uns doch nicht, die Cilien in solche Ruhe zu bringen, dass sie distinct zu unterscheiden gewesen wären, mag nun die Geschwindigkeit der Umdrehung selbst zu ungleich sein, als dass die Geschwindigkeit der Scheibenumdrehung ihr genau correspondiren könnte, oder mag ein anderer uns unbekannter Umstand an diesem verfehlten Resultate Schuld sein. Vielleicht sind andere weiterhin glücklicher und lernen durch Wiederholung dieser Versuche die Umstände kennen, auf welche Rücksicht genommen werden muss, wenn man Resultate erhalten will, welche mit der auf guter Basis beruhenden Theorie besser im Einklange stehen.

Glücklicher Weise ist das Gelingen oder Fehlschlagen der angegebenen Methoden für die mikroskopische Untersuchung der organischen Bewegungen ziemlich gleichgültig, insoweit es nämlich darauf ankommt, das Vorhandensein oder das Fehlen der sich bewegenden Theile zu entdecken. Allmälig nimmt die Geschwindigkeit aller jener Bewegungen ab: die Blutkörperchen werden immer langsamer fortbewegt, die Oscillationen der Cilien werden nach und nach träger, und so wird ein Beobachter, dem es nicht durchaus an Geduld gebricht, immer Gelegenheit haben, von deren Vorhandensein sich zu überzeugen, ohne dass er genöthigt ist, zu jenen zwar richtigen, aber höchst umständlichen und deshalb nicht gerade praktischen Hülfsmitteln seine Zuflucht zu nehmen.

Ein unentbehrliches Hülfsmittel bei der mikroskopischen Anatomie 321
thierischer Organe ist das Einspritzen der feinsten Gefässe mit gefärbten Substanzen. In der That ist es nicht möglich, von den Theilungen, vom Verlaufe, ja auch nur vom Vorhandensein der höchst zarten Haargefässe sich auf andere Weise zu überzeugen, da man sie nach dem Tode nur selten mit Blut gefüllt findet. Ist dies aber auch der Fall, so ist doch die Durchsichtigkeit der Blutkörperchen selbst zu gross, als dass ihr Vorhandensein anders zu ermitteln wäre, als wenn sie selbst oder das enthaltende Gefäss gehörig isolirt sind. Hat man sich alle Mühe gegeben, die Zusammensetzung eines Organs gründlich zu erforschen, ohne indessen die Gefässe zu injiciren, so wird man bei späterer Untersuchung guter Injectionspräparate finden, dass man sich bis dahin von dessen Bau eine mangelhafte und unvollkommene Vorstellung gemacht hat. Die Injection belehrt uns nicht blos über den Verlauf der Gefässe, denn der Gefässverlauf steht immer im genauen Zusammenhange mit den übrigen Theilen, und es wird daher auch deren Gefüge und Verbindung zugleich mit aufgehellt: das ganze Bild wird anschaulicher, plastischer, und dazu trägt der starke Gegensatz zwischen dem Colorit der zur Injection benutzten Substanzen und des übrigen Gewebes nicht wenig bei.

Wirklich verfehlen auch wohlgelungene Injectionen niemals, auf denjenigen, der sie zum ersten Male durchs Mikroskop betrachtet, einen lebhaften Eindruck zu machen, nicht nur wegen der Zierlichkeit, welche allen Capillarnetzen bei sonstigem Wechsel in der Form und Verästelung zukommt, sondern auch deshalb, weil sich dann das mikroskopische Bild besser deuten und verstehen lässt, so dass selbst der Ungeübteste sich leicht zurecht findet und sich ein klares Bild vom Gesehenen macht, was von den meisten anderen mikroskopischen Beobachtungen durchaus nicht behauptet werden kann.

Eine Anweisung zum Anfertigen solcher Präparate darf daher auch hier nicht fehlen. Um aber nicht zu weit ins Gebiet der allgemeinen praktischen Anatomie einzugreifen, werde ich hier kurz sein und mich auf Anführung desjenigen beschränken, was ich durch eigene Untersuchung als zweckmässig erkannt habe. Ueber die zu den Injectionen nöthigen Instrumente findet man das Nöthige bei Strauss-Durckheim Vol. I, p. 112 angegeben, so wie bei: Alfred Tulk and Arthur Henfrey, *Anatomical Manipulation.* London, 1844.

322 Das gebräuchlichste Instrument zur Ausführung von Injectionen ist die Spritze. Es versteht sich von selbst, dass diese gut und sauber gearbeitet sein muss, so dass der Stempel gut auf- und niedergeht und auch gehörig schliesst. Die Grösse der Spritze richtet sich nach der Grösse des Objects, dessen Gefässsystem eingespritzt werden soll. Man kann freilich mit einer grösseren Spritze auch eine geringere Quantität Injectionsmasse einspritzen, und eine kleinere Spritze vermag durch wiederholte Füllung den Mangel einer grösseren zu ersetzen; gleichwohl ist es vorzuziehen, wenn man zwei oder mehr Spritzen von verschiedener Grösse hat, weil es schwer fällt, mit einer weiteren Spritze, wo mithin die Oberfläche des Stempels sehr gross ist, den Druck so gemässigt und geregelt wirken zu lassen, dass die Blutgefässe in sehr kleinen Thieren oder Organen nicht zerreissen, und weil andererseits das Injiciren grösserer Theile oftmals nicht gut ausfällt, wenn man durch wiederholte Füllung der Spritze das Geschäft immer unterbrechen muss. Für die meisten hier vorkommenden Fälle ist eine Spritze, welche $^1/_2$ Liter Wasser fasst, ausreichend; die kleinere Spritze aber sollte etwa $^1/_{10}$ Liter fassen.

Zu jeder Injectionsspritze gehören mehrere Kanülen von verschiedenem Durchmesser, entsprechend der Weite der Gefässe, in die sie eingesetzt werden müssen. Man kann sich dergleichen Röhrchen von solcher Feinheit verschaffen, dass kaum ein Kopfhaar durchgeht. So feine Röhrchen verstopfen sich aber leicht und passen nur für wenige Fälle; am meisten finden jene mit einem Lumen von $^1/_3$ bis 3 Millimeter Anwendung. Bei manchen Spritzen wird die Kanüle durch eine Schraube angefügt. Das ist überflüssig und unbequem; ein einfaches Einschieben ist ganz ausreichend, wenn die Spitze der Spritze gut in

die Oeffnung der Kanüle passt. — Für manche Fälle ist es vortheilhaft, wenn zwischen die Spitze des Spritzenrohrs und die Kanüle eine an beiden Enden mit den nöthigen messingenen Ansatzstücken versehene Röhre von vulkanisirtem Kautschuk eingeschoben wird. Die Spitze kann dann in verschiedener Richtung bewegt werden, ohne Gefahr, dass das Gefäss, worin die Kanüle steckt, durch dieselbe gequetscht wird. Da jedoch die Kautschukröhre durch die Wärme der Injectionsmasse zu weich wird, als dass sie dem Andrange gehörigen Widerstand zu leisten vermöchte, so muss sie einen Ueberzug von Leinwand oder Kattun bekommen. Diese nützliche Zugabe zum Injectionsapparate habe ich zuerst durch Schroeder van der Kolk kennen gelernt.

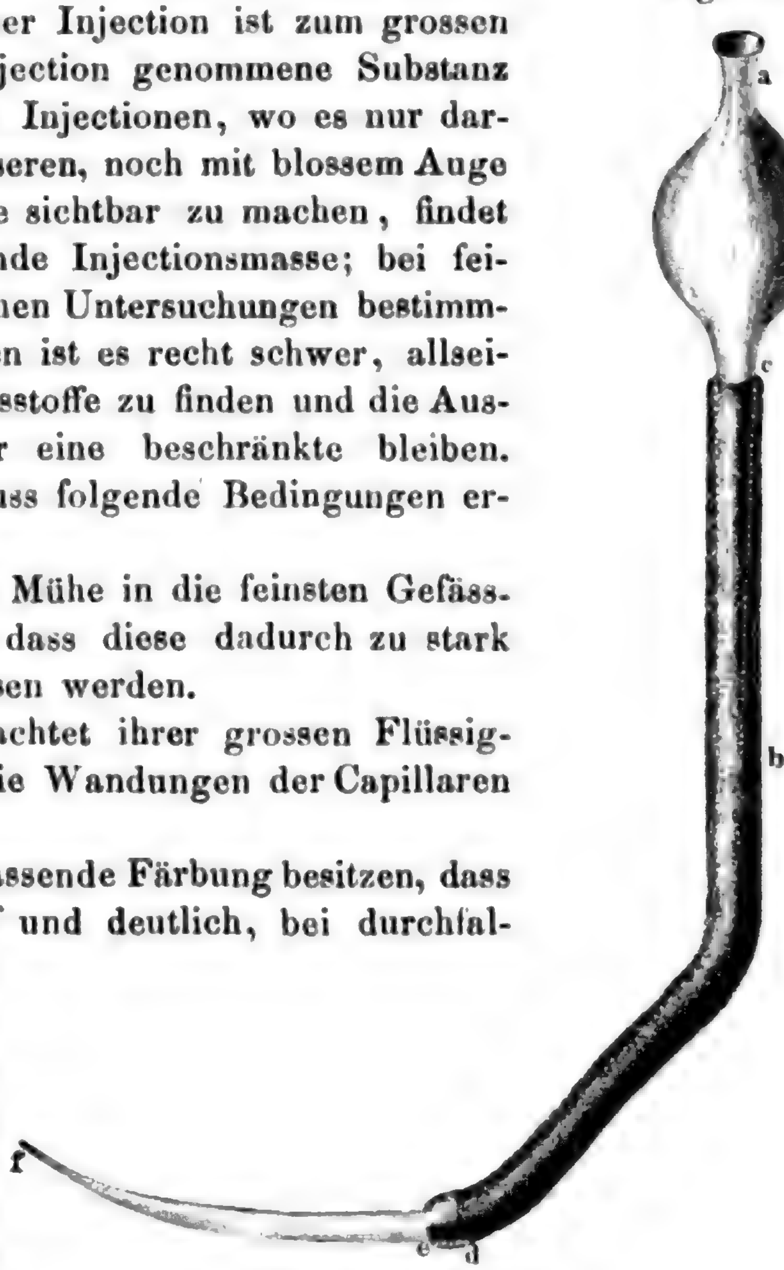
Ausser der gewöhnlichen Injectionsspritze sind noch einige andere Apparate zu Injectionen empfohlen worden. Da ich sie nicht aus eigener Erfahrung kenne, kann ich über ihre Zweckmässigkeit nicht urtheilen. Indessen will es mir doch scheinen, als überträfe die Spritze alle anderen nicht blos durch die Einfachheit der Anwendung, sondern auch in der Sicherheit, da der Druck, welchen die Hand auf den Stempel ausübt, sich nach dem Grade des Widerstandes und nach der Zartheit des zu injicirenden Theils regeln lässt.

In manchen Fällen, namentlich zum Injiciren kleiner und zarter Thiere, Mollusken u. dergl., wo die Gefässe zu unterbinden unmöglich ist, kann man recht gut eine Glaspipette benutzen, deren eines Ende in ein feines umgebogenes Röhrchen ausgezogen ist. Dieser Theil muss kegelförmig zulaufen, damit beim Einführen in das Gefäss zugleich die Oeffnung abgeschlossen wird. Bequemer ist folgender in Fig. 151 (a. f. S.) in halber Grösse dargestellte Apparat, den man sich selbst herrichten kann, und den man, nur etwas mehr complicirt, auch bei Strauss-Durckheim und weiterhin bei Tulk und Henfrey beschrieben findet. Er besteht nämlich aus einer gewöhnlichen gläsernen Pipette *ab* von ziemlicher Grösse, wie man sie unter den Glaswaaren zum chemischen Gebrauche vorräthig findet, und aus einer Kautschukröhre *cd*, die mit dem einen Ende um den dickern Theil eines fein ausgezogenen und unter einem stumpfen Winkel umgebogenen Glasröhrchens *ef* mittelst eines Fadens befestigt wird. Beim Gebrauche wird die Pipette in die farbige Flüssigkeit gebracht, durch Ansaugen gefüllt und in das offene Ende der Kautschukröhre gesteckt, worin sie wegen der kegelförmigen Gestalt fest genug anschliesst.

Rusconi (*Ann. des Sc. nat.*, *Serie* 2. Vol. 17, p. 111) nimmt den Schaft einer Feder von der Krähe, vom Rebhuhn oder einem noch kleineren Vogel und schiebt eine Nadel ein, wodurch das Ganze eine Art Trockar wird. Das kleine Gefäss, in welches man injiciren will, wird mit einer Pincette angezogen und die Spitze der Nadel eingeführt. Dann schiebt man den Federschaft in die gemachte Oeffnung und entfernt die Nadel; in das offene Ende des Schaftes aber bringt man hier-

auf das dünne Ende einer kleinen Injectionsspritze, die vorher mit gefärbter Masse gefüllt worden ist.

Fig. 151.



Injectionsapparat.

323 Das Gelingen einer Injection ist zum grossen Theil durch die zur Injection genommene Substanz bedingt. Bei gröberen Injectionen, wo es nur darauf ankommt, die grösseren, noch mit blossem Auge wahrnehmbaren Gefässe sichtbar zu machen, findet man leicht eine passende Injectionsmasse; bei feineren, zu mikroskopischen Untersuchungen bestimmten Injectionen dagegen ist es recht schwer, allseitig genügende Injectionsstoffe zu finden und die Auswahl wird hier immer eine beschränkte bleiben. Die Injectionsmasse muss folgende Bedingungen erfüllen:

1) Sie muss ohne Mühe in die feinsten Gefässchen eindringen, ohne dass diese dadurch zu stark ausgedehnt oder zerrissen werden.

2) Sie darf ungeachtet ihrer grossen Flüssigkeit doch nicht durch die Wandungen der Capillaren dringen.

3) Sie muss die passende Färbung besitzen, dass jedes Gefässchen scharf und deutlich, bei durchfallendem wie bei auffallendem Lichte, unterschieden werden kann.

4) Diese Färbung muss überall eine gleichmässige sein, d. h. der benutzte Farbstoff muss überall ein zusammenhängendes Ganzes bilden, ohne dass sich eine Spur von Körnchen zeigt, selbst in den feinsten Gefässchen.

Jede Injectionsmasse enthält noch als Constituens eine Flüssigkeit, worin der färbende Bestandtheil aufgenommen wird, und man hat hierzu mancherlei Substanzen empfohlen *). Geschmolzenes Wachs, Talg, Walrath, Kakaobutter und ähnliche nur bei einer höheren Temperatur flüs-

*) Das Quecksilber übergehe ich mit Stillschweigen, als ganz unpassend zu mikroskopischen Injectionen, da es vermöge seiner Schwere die feinen Gefässe viel zu stark ausdehnt, zerreist und dann sich allerlei Wege in dem Gewebe der Organe bohrt. Auch bei der Injection der Lymphgefässe lässt es sich durch weniger schwere Flüssigkeiten ersetzen, wie Rusconi, Breschet und Andere dargethan haben.

sige Körper können blos bei gröberen Injectionen in Betracht kommen. Für feine Injectionen ist von Manchen Terpentinfirniss angepriesen worden. Bei wiederholt damit angestellten Versuchen haben aber solche Firnissinjectionen weder mir noch meinem Collegen Schroeder van der Kolk gelingen wollen; zudem hat auch der Terpentinfirniss die unbequeme Eigenschaft, dass er nur sehr langsam trocknet und genugsam erhärtet, daher man Gefahr läuft, dass die Injectionsmasse aus den durchschnittenen Gefässen austritt und die Oberfläche der Präparate verunreinigt.

Nur zur Injection oberflächlicher Gefässnetze, wenn das Organ nicht erst durchschnitten werden muss, um die injicirten Theile gut zu sehen, kann eine derartige Injectionsmasse mit Vortheil benutzt werden, wie die bekannten schönen Injectionen Hyrtl's lehren. Nach mündlicher Mittheilung besteht die von ihm benutzte Injectionsmasse aus gleichen Theilen weissem Wachs, Canadabalsam und Mastixfirniss. Auf ein Pfund dieser Masse kommt 1 Loth Mennige, damit sie besser gerinnt. Zur Färbung benutzt er die in kleinen Blasen oder in Stanniolkapseln aufbewahrten Malerfarben. Die Masse wird erwärmt und dann soviel Terpentinöl zugesetzt, als zu einer ausreichenden Flüssigmachung derselben nöthig ist, worauf man dann den Farbstoff darunter mengt. Die Farbstoffe, deren er sich gewöhnlich bedient, sind: Zinnober, Chromblei, ferner ein Gemenge von Bleiweiss mit einer sehr geringen Quantität Berliner Blau.

Das beste Constituens für mikroskopische Injectionsmassen ist übrigens eine wässerige Leimsolution. Denn erstens haben Wasser und wässerige Solutionen im Allgemeinen in den feinen Gefässchen, deren Wände immer mit Blut, also mit einer sehr wasserhaltigen Flüssigkeit in Berührung sind, einen weit geringern Widerstand zu überwinden, als alle öligen und fetten Substanzen; zweitens aber gerinnt der Leim beim Erkalten, und man hat daher beim Anfertigen von Durchschnitten oder sonstigen Präparaten das Ausfliessen der Injectionsmasse aus den durchschnittenen Gefässen wenig oder gar nicht zu fürchten.

Zur Anfertigung der Leimsolution verdienen die Leimplätzchen den Vorzug, die man bei den Zuckerbäckern als sogenannte Gelatine kauft. Benutzt man einen unreinen gelblichen Leim, so ist es rathsam, die Auflösung erst durch ein Tuch zu giessen, um die darin schwebenden Unreinigkeiten abzusondern. Das Verhältniss des Leims zum Wasser muss so sein, dass die Solution beim Erkalten eine nicht zu steife Gallerte bildet, was man erkennen kann, wenn man einen Tropfen auf einen kalten Körper bringt. Der Sommer und der Winter machen dabei einen Unterschied; auch ist die Gerinnbarkeit verschiedenartig je nach der gebrauchten Leimsorte. Im Allgemeinen darf man annehmen, dass 1 Theil Leim auf 8 bis 10 Theile Wasser ein richtiges Verhältniss ist. Man braucht aber auch nicht alles zu der Solution erforderliche Wasser auf der Stelle zuzusetzen, vielmehr kann man

erst eine concentrirte Leimsolution bereiten, unter welchem Namen weiterhin eine solche verstanden werden soll, die auf 4 Theile Wasser 1 Theil Leim enthält.

Beim Auflösen darf nur ein mässiger Wärmegrad in Anwendung kommen, und vor Allem hat man die Kochhitze zu vermeiden, weil dadurch die Gerinnbarkeit abnimmt.

324 Gross ist die Zahl der Färbmittel, die man zu Injectionen empfohlen hat; aber nur wenige genügen allen Anforderungen, die man an eine gute, dem Zwecke entsprechende färbende Substanz zu stellen hat.

Farbstoffe, die sich in Wasser vollständig lösen, wie Lackmus, Curcuma u. s. w., dringen zwar bis in die feinsten Gefässchen ein, treten aber auch sehr leicht durch die Wandungen derselben hindurch und färben so das ganze Gewebe. Ausserdem erleiden alle solche organische Farbstoffe leicht Umwandlungen, bald durch die Wärme, bald durchs Licht, und sie lassen sich nicht in wässerigen Solutionen aufbewahren. Besser eignen sich demnach solche Farbstoffe, deren Theilchen in der Flüssigkeit suspendirt bleiben und die sich in Wasser, in Alkohol, in Terpentinöl nicht lösen. Das sind die Gründe, weshalb mehrere metallische Präparate als die besten Färbmittel für Injectionsmassen sich bewähren.

Ich habe mit einer ziemlichen Anzahl von Gemengen ausdrückliche Versuche angestellt und dabei folgende Resultate erhalten.

Gelbe Injectionsmasse. — Ich kenne keine Substanz, die sich zu mikroskopischen Untersuchungen besser eignete, als das durch doppelte Zersetzung präcipitirte chromsaure Blei *), welches gewonnen wird, wenn man 100 Theile essigsaures Blei mit einer Auflösung von 52,4 Theilen chromsauren Kalis mischt. Zur Bequemlichkeit des Lesers theile ich im Nachfolgenden die Verhältnisse mit, in denen ich diese Substanzen anwende, und zwar nach dem Gewichte:

a. 4 Unzen $1^1/_3$ Drachme essigsaures Blei werden in so viel Wasser gelöst, dass das Ganze dem Volumen von 16 Unzen Wasser entspricht.

b. 2 Unzen 1 Drachme und 28 Gran chromsaures Kali werden in so viel Wasser gelöst, dass das Ganze das Volumen von 32 Unzen Wasser erreicht.

Zum Anfertigen der Injectionsmasse nimmt man nun 1 Maass-

*) Das im Handel vorkommende Chromgelb ist häufig zu Injectionen benutzt worden, eignet sich aber wenig hierzu, da es wegen seiner bedeutenden Schwere in der Flüssigkeit rasch zu Boden sinkt. Doyère (*Comptes rendus*, 1841. 12. *Juillet*) empfahl nach einander zuerst eine Lösung von essigsaurem Blei und dann eine solche von chromsaurem Kali einzuspritzen, wo dann in den Gefässen selbst das chromsaure Blei präcipitirt wird. Es lassen sich auf diesem Wege allerdings wohl die feinsten Gefässchen injiciren, dieselben erscheinen aber niemals gehörig gefüllt, weil das Präcipitat sich nicht gleichmässig absetzt, sondern körnig bleibt.

theil der Auflösung a, 2 Maasstheile der Auflösung b und 2 Maasstheile concentrirte Leimsolution. Zuerst mischt man in einem besondern Gefässe die beiden Salzlösungen, rührt die Mischung ein paar Augenblicke stark um und giesst sie dann zur Leimauflösung. Die angegebene Ordnung in der Vermischung ist nicht gleichgültig; werden die beiden Salzlösungen dem Leime unmittelbar zugesetzt, so findet man, dass die Präcipitation sehr ungenügend erfolgt. Die Mischung, worin das Präcipitat entsteht, darf aber auch nicht zu lange stehen bleiben, ehe sie dem Leime zugesetzt wird, weil sonst, wegen des Zusammenklebens der kleinen Molekeln, die Vertheilung der Farbetheilchen eine weniger feine wird.

Blaue Injectionsmasse. — Schon seit mehreren Jahren benutzt mein College Schroeder van der Kolk eine solche, die in ähnlicher Weise wie die gelbe dadurch bereitet wird, dass man Auflösungen von schwefelsaurem Eisenoxyd und von blausaurem Eisenoxydulkali mit einander mischt. Die auf solchem Wege blaugefärbte Leimauflösung besitzt ein grosses durchdringendes Vermögen, denn das entstandene Berlinerblau ist in sehr fein vertheiltem Zustande in der Flüssigkeit enthalten. Zur Erzeugung des Präcipitats können folgende Solutionen verwendet werden:

a. $3^1/_8$ Unzen schwefelsaures Eisenoxydul werden in 20 bis 25 Unzen Wasser gelöst, und dann bei mässiger Wärme unter Zusatz von $4^3/_4$ Drachmen Schwefelsäure von 1,85 specif. Gewicht und unter Zufügung der erforderlichen Menge Salpetersäure in das Oxydsalz umgewandelt; dann aber setzt man noch so viel Wasser hinzu, dass das Ganze das Volumen von 40 Unzen Wasser erreicht.

b. 3 Unzen $6^3/_4$ Drachmen Ferrocyankalium werden in Wasser gelöst, bis das Ganze ein Volumen von 80 Unzen Wasser erreicht.

Zum Anfertigen der Injectionsmasse nimmt man nun 1 Maasstheil der Solution a, 2 Maasstheile der Solution b und 2 Maasstheile der concentrirten Leimauflösung. Beim Gebrauche derselben kommt noch der Umstand in Betracht, dass durch den Natrongehalt des Blutes eine stärkere oder schwächere Zersetzung und dadurch eine Entfärbung des Berlinerblau in den feinsten Gefässchen eintritt. Bringt man indessen das Injectionspräparat in eine Säure, wozu je nach den Umständen verdünnte Schwefelsäure, Essigsäure oder Weinsteinsäure genommen werden kann, dann tritt die frühere blaue Farbe wieder hervor. Man kann aber auch der Injectionsmasse gleich eine kleine Quantität Weinsteinsäure zusetzen, so viel nämlich als hinreicht, das kohlensaure Natron des Blutes zu sättigen.

Eine gleich eindringliche und leichter zu bereitende Injectionsmasse hat man in der Solution des Berlinerblau in Oxalsäure, die freilich nur eine scheinbare Solution ist, obwohl man selbst unterm Mikroskope keine deutlichen Molekeln in der Flüssigkeit wahrnimmt. Denn durch ein hinreichend dichtes Filtrum kann der blaue Farbstoff von der was-

serhellen Flüssigkeit geschieden werden und nach längerer oder kürzerer Zeit fällt das Berlinerblau wiederum aus der Flüssigkeit zu Boden. Diese gefärbte Solution theilt nun aber mit der soeben beschriebenen nicht die nachtheilige Eigenschaft, durch den Natrongehalt des Blutes eine Entfärbung zu erleiden. Nur muss man reines Berlinerblau nehmen, das man entweder selbst bereitet, indem man ein Eisenoxydsalz mit Blutlaugensalz präcipitirt, oder wozu man auch das im Handel vorkommende verwendet, nachdem man es vorher auf die Weise gereinigt hat, dass man es in einem Mörser mit der gleichen Menge concentrirter Schwefelsäure zusammenreibt und dann so lange mit Wasser auswäscht, als dieses noch Säurespuren verräth.

Am besten fand ich folgendes Verhältniss: 1 Theil Berlinerblau, 1 Theil Oxalsäure, 12 Theile Wasser und 12 Theile concentrirte Leimauflösung. Zuerst wird die Oxalsäure in einem Mörser feingerieben und dann das Berlinerblau zugesetzt; hierauf wird das Wasser langsam und in kleinen Portionen unter beständigem Verreiben zugefügt, und zuletzt giebt man die gefärbte Flüssigkeit zur warmen Leimauflösung.

Rothe Injectionsmasse. — Zu Injectionen können folgende rothe durch Präcipitation erhaltene Farbstoffe in Betracht kommen: frisch bereitetes *Sulphur auratum antimonii*, basisches chromsaures Blei, welches erhalten wird, wenn man auf das neutrale gelbe Salz Aetzkali giesst, endlich Quecksilberjodid.

Wenn *Sulphur auratum antimonii* alsbald nach der Präcipitation als Färbmittel verwendet wird, so ist dies allerdings zulässig, weil der Goldschwefel sich sehr fein in der Flüssigkeit vertheilt. Nur wirkt das immer darin vorhandene Schwefelwasserstoffgas nachtheilig auf die messingenen Spritzen.

Basisch chromsaures Blei hat zwar eine sehr lebhafte Farbe; zu feinen Injectionen indessen ist es zu grobkörnig und zu schwer.

Geeigneter ist das Quecksilberjodid zur Aufnahme in eine Injectionsmasse nach folgender Vorschrift:

a. 1 Unze $5^1/_3$ Drachmen Quecksilberjodid werden in Wasser gelöst, so dass das Ganze dem Volumen von 32 Unzen Wasser gleich kommt.

b. 2 Unzen Jodkali werden in Wasser gelöst, so dass das Ganze dem Volumen von 8 Unzen Wasser gleich kommt.

Zur Injection werden dann 4 Maasstheile der Solution a, 1 Theil der Solution b und 4 Theile der concentrirten Leimsolution gemischt. Diese Masse hat allerdings eine sehr schöne Farbe und sie dringt auch weit vor; sie hat aber das Unangenehme, dass sie in den feinen Haargefässen die rothe Färbung einbüsst und gelb wird. Diese Neigung zur Farbenänderung ist sogar so gross, dass, wenn auch nur die geringste Menge Leim in dem gläsernen Gefässe, worin die beiden Solutionen gemischt werden, befindlich ist, kein rothes Präcipitat entsteht, sondern ein gelbes.

Keins der genannten rothen Färbmittel kann daher unbedingt em-

pfohlen werden, und in den meisten Fällen, wo man roth injiciren will, verdienen sogar pulverförmige Farbstoffe den Vorzug. Unter diesen steht Zinnober oben an; nur muss er sehr fein zerrieben und dann noch geschlemmt werden. So fein zertheilter chinesischer Zinnober wird auch zu feinen Oel- und Wasserfarben benutzt, und man kann ihn daher in den Handlungen mit Malerfarben bekommen. Eine unangenehme Eigenschaft des Zinnobers ist übrigens sein grosses specifisches Gewicht, weshalb er sehr rasch zu Boden fällt. In dieser Beziehung ist man mit Goldschwefel besser daran, der erst gut ausgewaschen, getrocknet, wieder fein zerrieben und geschlemmt worden ist; nur hat er keine so lebhafte Farbe.

Folgende Mengenverhältnisse der beizufügenden Farbstoffe habe ich als zweckmässig erfunden. Man nimmt 1 Theil chinesischen Zinnober, reibt diesen mit 8 Theilen Wasser zusammen, lässt das Gemenge einige Augenblicke in einem Spitzglase stehen, bis etwa $^1/_3$ des Zinnobers niedergefallen ist, giesst dann das obenschwimmende ab und vereinigt es mit 8 Theilen concentrirter Leimsolution. Mit *Sulphur auratum* verfährt man in gleicher Weise; wegen seiner geringern Schwere braucht man aber nicht so viel als vom Zinnober, es genügt z. B. 1 Theil auf 12 Theile Wasser und 12 Theile Leimauflösung. Unmittelbar vor dem Gebrauche werden solche Gemenge gut umgerührt, und beim Aufsaugen durch die Spritze wird deren Spitze dicht unter die Oberfläche der Flüssigkeit gehalten, damit nur der feinste Theil des Farbstoffs aufgenommen wird.

Eine rothe Injectionsmasse, die besondere Vorzüge hat, ist die zuerst von Gerlach benutzte Auflösung des Karmins in Ammoniak. Sie dringt mit gleicher Feinheit ein als die oben beschriebenen gelben und blauen Injectionsmassen, und gleich den letzteren gestattet sie die Benutzung durchfallenden Lichts. Beim Zubereiten dieser Auflösung muss man sich aber hüten, zu viel Ammoniak zu nehmen, weil der Leim dadurch zum Theil gerinnt und klumperig wird. Besser ist es, man nimmt einen kleinen Ueberschuss von Karmin, lässt die Solution sich setzen, und fügt dann von der vorher mit Wasser verdünnten ammoniakalischen Flüssigkeit unter stetem Umrühren der Leimsolution so viel zu, dass eine ziemlich gesättigte Färbung hervorgebracht wird, die sich auch in einer sehr dünnen Lage noch deutlich erkennen lässt. Da die Solution sehr dunkel ist, so reicht schon eine verhältnissmässig geringe Menge hierzu aus.

Weisse Injectionsmasse. — Ungeachtet es viele durch doppelte Zersetzung entstehende weisse Präcipitate giebt, so ist es mir bisher doch nicht gelungen, eins ausfindig zu machen, welches alle Eigenschaften besitzt, die in einem zu sehr feinen Injectionen bestimmten guten Färbmittel vereinigt sein müssen. Ich habe eine ziemliche Anzahl derselben nach einander durchprobirt, die ich, der Kürze habler, mit Stillschweigen übergehe. Nur das Präcipitat des kohlensauren Bleies

hat ziemlich befriedigende Resultate geliefert. Als passende Verhältnisse ergaben sich folgende:

a. 4 Unzen $1^1/_3$ Drachme essigsaures Blei werden in Wasser gelöst, dass das Ganze dem Volumen von 16 Unzen Wasser gleich kommt.

b. 3 Unzen $1^1/_3$ Drachme kohlensaures Natron werden in Wasser gelöst, dass das Ganze auch wieder 16 Unzen Wasser gleich kommt.

Zur Injectionsmasse nimmt man 1 Maasstheil von der Solution a, 1 Thl. von der Solution b und 2 Theile von der concentrirten Leimsolution. Sie dringt besser vor als eine Masse aus Leimsolution und Bleiweiss.

Bei manchen Injectionen bewährte sich eine Masse besser, welche Zinkoxyd enthielt, und zwar in jenen Verhältnissen, die für *Sulphur auratum* angegeben worden sind.

325 Unter den bisher aufgezählten Injectionsstoffen verdient der zuerst genannte, nämlich die durch präcipitirtes neutrales chromsaures Blei gefärbte Leimsolution, den unbedingten Vorzug. Sie besitzt alle Eigenschaften einer guten Injectionsmasse, sie dringt gut ein, die färbenden Theilchen haben einen gleichmässigen Zusammenhang, und die Färbung ist eine recht lebhafte, die bei auffallendem Lichte recht gut gegen das dunkle Gesichtsfeld absticht. Steht die Wahl frei und will man nur Eine Farbe anwenden, so verdient deshalb das chromsaure Blei den Vorzug.

Einander gleichstehend und die zweite Stelle einnehmend erachte ich die Lösungen von Berlinerblau in Oxalsäure und von Karmin in Ammoniak. Diese beiden dringen eben so leicht bis in die feinsten Gefässchen ein; indessen sind die damit gefüllten Gefässe nur bei durchfallendem Lichte wahrnehmbar. In manchen Fällen ist dies aber ein entschiedener Vorzug, namentlich wenn etwas stärkere Vergrösserungen angewendet werden.

Sind zwei Farben zur Injection nöthig, wenn das arterielle und das venöse System eingespritzt werden sollen, so ist es rathsam, jene vereinigt anzuwenden, die bei auffallendem oder bei durchfallendem Lichte benutzbar sind, d. h. Berlinerblau und Karmin im letzteren Falle, chromsaures Blei und Zinnober im ersteren Falle.

Zu manchen Injectionen sind endlich drei oder selbst vier verschiedene Farben erforderlich, z. B. bei der Leber, wo die beiderlei Venen, die Arterie und die Gallengänge gefüllt werden müssen. In einem solchen Falle muss es als Regel gelten, dass jene Substanz, welche erfahrungsmässig das geringste durchdringende Vermögen besitzt, zur Injection jenes Gefässes benutzt wird, dessen Capillarsystem die dicksten Gefässchen besitzt, bei der Leber also zur Injection der *Vena hepatica*.

326 Für die Injectionen giebt es noch einige gemeinsame Regeln, die ich hier kurz zusammenstellen will.

1) Bevor man zur Injection eines Thieres oder eines Organs schreitet, muss man sich einen gehörigen Plan machen, wobei natürlich die

Kenntniss des Verlaufs und der wechselseitigen Verbindungen der Gefässe eine unerlässliche Forderung ist. Da man nun weiss, dass eine in bestimmter Richtung fortbewegte Masse durch einen Verbindungsast seitlich zu einem Organe gelangen kann, das man für den Augenblick vielleicht noch nicht eingespritzt haben will, so wird man dann die Vorkehrung treffen, dergleichen Verbindungsäste vorher zu unterbinden. Bei sehr eindringlichen Substanzen muss man sogar noch weiter gehen und darauf bedacht sein, welche Bahn die Masse einschlagen kann, wenn sie durch das Capillarsystem hindurch ist und durch die grösseren Gefässe zurückkehrt. Ich erwähne in dieser Beziehung nur den von mir beobachteten Fall, wo die gelbe, oben beschriebene Injectionsmasse genommen wurde, um eine hintere Extremität eines Kaninchens durch die *Arteria cruralis* zu füllen, und wo die Injectionsmasse durch das Capillarsystem und die Venen des Fusses zurückkehrte und einen grossen Theil der Capillaren des Darms und selbst der Leber füllte.

2) Eine Injection gelingt immer besser bei jungen als bei alten Individuen, besser bei mageren als bei fetten. Auch ist die Zeit unmittelbar nach dem Tode keineswegs die günstigste zu einer Injection, sondern man schreitet lieber etwas später dazu, wenn die allgemeine Starre der Theile einer beginnenden Erschlaffung Platz gemacht hat. Dieser Zeitpunkt tritt bald früher, bald später ein, was hauptsächlich von der Temperatur der umgebenden Luft abhängt: im Sommer injicirt man nach einigen Stunden, während man im Winter oftmals vier Tage oder selbst noch später nach dem Tode noch mit gutem Erfolge injiciren kann.

3) Am leichtesten und sichersten ist immer die Injection durch die Arterien, und zwar wegen der grössern Dicke ihrer Wandungen. Kommt es daher nur auf Anfüllung des eigentlichen Capillarsystems an, so nimmt man diese immer am besten durch die Arterien vor und nicht durch die weit zarteren Venen. Zudem haben die Venen in der Mehrzahl der Organe Klappen, wodurch die Capillaranfüllung behindert wird. Fehlen die Klappen, wie in den Venen der Eingeweide, so kann man die beiderlei Gefässsysteme nach einander injiciren, und das ist nöthig, wenn man die secundären, bereits mikroskopischen Netze von Venen und Arterien kennen lernen will, aus denen das gemeinschaftliche Haargefässnetz entspringt. Bei dieser Veneninjection muss man bemüht sein, bevor man die Kanüle der Spritze ins Gefäss einsetzt, das geronnene Blut in dem Gefäss und in dessen Hauptästen mit Vorsicht zu entfernen, indem man es durch sanften Druck mit dem Scalpellhefte aus der gemachten Oeffnung heraustreibt. Enthält das Organ unverkennbar sehr viel Blut, so ist es manchmal räthlich, erst warmes Wasser durch die Arterie einzuspritzen, so dass dies durch die Vene wiederum ausfliesst und das Blut mit fortnimmt. Zu dieser Wasserinjection darf man aber nur dann seine Zuflucht nehmen, wenn sie wirklich erforderlich ist: die feineren Gefässchen leiden stets durch dieselbe, und es entsteht daher nachher leichter ein Extravasat.

4) Sind die Kanülen auf gehörige Weise in die Gefässe eingeführt und durch einen Faden, den man mittelst einer krummen Nadel unter dem Gefässe durchführt, befestigt worden, dann kommt der zu injicirende Theil in Wasser von 36° bis 40° C. und die Einspritzung nimmt man nicht eher vor, als bis diese Temperatur sich bis zu den innersten Theilen hat ausbreiten können.

5) Die Injectionsmasse muss so weit erwärmt werden, dass sie leicht flüssig ist. Dieser Wärmegrad kann jenen des ebengenannten Wasserbades noch etwas übertreffen, er darf aber nicht den Gerinnungspunkt des Eiweisses (60° C.) erreichen.

6) Beim Füllen der Spritze durch Aufsaugen der Injectionsmasse ist Sorge zu tragen, dass keine Luft mit eindringt. Am besten wird dies dadurch verhindert, wenn man, bevor die Spitze der Spritze unter die Oberfläche der Injectionsmasse kommt, den Stempel ganz bis auf den Boden der Spritze drückt.

7) Ist die Spitze der gefüllten Spritze in die Oeffnung der Kanüle eingesetzt worden, so übt man einen lansamen und gleichmässigen Druck auf den Stempel aus. Ein sehr starker Widerstand kann von einer Verstopfung der Kanüle herrühren; man muss dann die Spritze herausnehmen, und darin einen Metalldraht oder bei feineren Kanülen eine Schweinsborste auf- und abbewegen, um das Hinderniss aus dem Wege zu schaffen. Man muss aber auch bedacht sein, die Spritze in einer Richtung zu halten, wobei die Masse am leichtesten fortbewegt wird, in jener Richtung nämlich, welchen der Blutstrom während des Lebens hatte.

8) Es lassen sich schwer bestimmte Regeln darüber aufstellen, wie lange die Injection fortgesetzt werden muss. Es gehört einige Uebung dazu, soll der Moment, wo man aufhören muss, mit einiger Zuverlässigkeit bestimmt werden. Aber auch der Geübteste kann darin einen Missgriff thun, so dass er erst bei der spätern Untersuchung erkennt, die Gefässe haben sich nicht vollständig gefüllt, weil die Injection zu früh abgebrochen wurde; oder aber, weil dieselbe zu lange fortgesetzt wurde, so sind die Wandungen der feineren Gefässchen zerrissen, der Farbstoff ist ausgeflossen und hat sich in dem Gewebe ausgebreitet.

Bei den leicht flüssigen und sehr eindringenden Massen, deren oben gedacht wurde, ist es in der Regel nicht rathsam, die Injection so lange fortzusetzen, bis man einen starken Widerstand findet; denn meistens ist es dann schon zum Extravasate gekommen. Es ist deshalb besser, man nimmt nur auf die sichtbaren Wirkungen der Injection Rücksicht, bei Injection durch die Carotis z. B. auf die Färbung der Lippen, der Conjunctiva u. s. w. Bemerkt man bei einer arteriellen Injection, dass die Masse durch die Venen zurückkommt, so versteht es sich von selbst, dass die Injection nicht weiter fortgesetzt werden darf.

9) Nach jeder Injection muss das injicirte Gefäss unterbunden werden, oder man muss die in dem Gefässe steckende Kanüle mit einem Korke verstopfen, um das Ausfliessen der Injectionsmasse zu verhüten.

Ist die Injection beendigt, dann wird der gut injicirte Theil mit kaltem Wasser gereinigt und hierauf in schwachen Weingeist gelegt, worin er mindestens ein paar Stunden, am liebsten aber bis zum folgenden Tage liegen bleibt, damit der Leim gehörig erstarrt, ehe man zur Untersuchung schreitet.

Für die Untersuchung injicirter Organe gilt es im Allgemeinen als 327
Regel, dass die wahre Vertheilung des Gefässsystems und das Verhalten der Gefässe zu den übrigen zusammensetzenden Theilen des Gewebes nur erkennbar ist, so lange das Präparat sich im feuchten Zustande befindet. Durchs Eintrocknen schrumpfen alle Theile zusammen, und Gefässe, die ursprünglich zwei oder noch mehr über einander liegenden Schichten angehörten, scheinen alsdann in einer einzigen Schicht zu liegen. Mit dem Trocknen ist aber der Vortheil verbunden, dass man späterhin die Präparate in Terpentinöl oder Canadabalsam bringen kann, worin das umgebende Gewebe durchsichtig wird, daher dann manche Einzelnheiten der Gefässvertheilung viel deutlicher zum Vorschein kommen als vorher, wo das Präparat noch im feuchten Zustande befindlich war. Meistens ist es daher anzuempfehlen, wenn man die Präparate nicht blos im feuchten, sondern auch im trockenen Zustande untersucht. Auch nach der Besonderheit des Organs richtet sich einigermaassen die zu wählende Methode. An manchen Organen, z. B. an der Leber, an den Nieren, kann man die Gefässvertheilung an getrockneten Durchschnitten der Oberfläche nicht nur, sondern auch der tiefern Theile genau studiren, ohne Gefahr, durch die genannte Ursache irregeführt zu werden. Dagegen liefern die trockenen Präparate von anderen Organen nur ein ganz ungenügendes Bild. Die Schleimhaut des Magens und der Gedärme z. B. mit den Flocken, Falten und Drüsen wird durchs Trocknen so sehr verändert, dass man, wenn man blos solche Präparate kennte, sich eine sehr unvollkommene Vorstellung vom Baue dieser Theile machen würde*).

Die mancherlei Injectionsmassen, von denen weiter oben die Rede war, lassen sich nicht blos dazu verwenden, die Blutgefässe durch Injection zu füllen, man kann damit auch andere Räume und Canäle injiciren, die im gewöhnlichen Zustande nur eine Flüssigkeit oder Luft enthalten. Man muss dann aber zu einem Beihülfsmittel greifen, damit die Flüssigkeit oder die Luft der Injectionsmasse ausweicht. So gelang Lionel Beale die Injection der feinen Gallencanäle in der Leber dadurch, dass die Leber zuerst durch die Pfortader mit warmem Wasser ausge-

*) Viele von den in künstlerischer Hinsicht vortrefflichen Abbildungen bei Berres (Anatomie der mikroskopischen Gebilde des menschlichen Körpers), welche alle nach getrockneten Präparaten angefertigt wurden, sind aus diesem Grunde ganz unbrauchbar. Nur wer durch eigene Untersuchung weiss, wie diese Präparate im frischen Zustande sich ausnehmen, vermag in diesem Wirrwarr von Gefässen einigermaassen den Faden zu finden.

spritzt wurde, wodurch ein Druck entsteht und die noch in den Canälen enthaltene Galle nach aussen getrieben wird, worauf er dann die Leber während 24 Stunden zwischen Tüchern einem Drucke unterwarf, in Folge dessen das Wasser wieder ausfloss und die Gallencanälchen leer wurden.

Die Bronchien und die Lungenbläschen lassen sich ebenfalls ausspritzen, wenn vorher die Luft soviel als möglich durch einen gleichmässig ausgeübten Druck entfernt wurde. Da aber die Canäle und die Höhlen hier verhältnissmässig gross sind, so eignet sich weisses Wachs besser zur Injectionsmasse als die Leimsolution.

Die ammoniakalische Karminsolution ist von Gerlach auch benutzt worden, um die Höhlen der Knochenzellen mit einem Farbstoffe zu füllen. Er treibt nämlich die Solution mit grosser Kraft in die Höhle eines Röhrenknochens, wobei natürlich die Oeffnung, durch welche injicirt wird, gehörig geschlossen sein muss. Durch dieses Verfahren kann der thatsächliche Beweis geliefert werden, dass die Höhle der Knochenzellen und deren Strahlen mit den Havers'schen Canälchen und diese wiederum mit der Markhöhle zusammenhängen.

Mittelst dieser Methode lassen sich indessen nur wenige Knochenzellen und zwischendurch auch wohl einige Ausläufer derselben füllen, weil die darin enthaltene Luft erst zurückgedrängt werden und dabei sich zusammenpressen muss. Besser entspricht dem Zwecke eine Methode, deren ich mich schon seit einigen Jahren bediene und die auch eine mehr ausgebreitete Anwendung findet; denn auf die gleiche Weise kann man alle mit Luft gefüllte Höhlungen in Knochen und Zähnen, die Tracheen der Insecten, die Intercellularräume der Pflanzen u. s. w. mit einer gefärbten Flüssigkeit anfüllen. In der Hauptsache läuft dieselbe darauf hinaus, dass das zu injicirende Object in einer gefärbten Flüssigkeit unter die Glocke der Luftpumpe gebracht wird, worauf man die Luft auspumpt und wiederum neue eintreten lässt, wodurch dann die gefärbte Flüssigkeit in die früher mit Luft gefüllten Höhlungen eindringt. Nur sind einige Vorkehrungen nöthig, wenn dieses Verfahren Erfolg haben soll. Zuvörderst muss die angewandte Flüssigkeit eine recht dunkele Farbe haben, weil die Strahlen der Knochenzellen, die Ausläufer der Zahnröhrchen, die letzten Verästelungen der Insectentracheen viel dünner und feiner sind als die feinsten Capillaren, durch welche Blut strömt, eine gefärbte Flüssigkeit daher, welche für die Capillaren noch ganz gut passt, für jene Canälchen viel zu blass ist. Zweitens muss der Farbstoff im aufgelösten Zustande sich in der Flüssigkeit befinden; denn auch die kleinsten darin suspendirten Molekeln würden die feinen Canälchen verstopfen. Drittens muss die Flüssigkeit derartig sein, dass sie nur in die Canälchen eindringt und nicht die Zwischensubstanz derselben imbibirt. Viertens muss darauf gesehen werden, dass soviel Luft als möglich aus den Canälchen fortgeschafft wird.

Zu den von mir geprüften gefärbten Flüssigkeiten gehörten auch die Lösungen des Karmins in Ammoniak und des Berlinerblau mit Oxal-

säure in Wasser. Wenngleich indessen diese beiden vor allen anderen mir bekannten farbigen Solutionen sich durch eine sehr dunkle Färbung auszeichnen, die auch noch in den dünnsten Canälchen erkennbar ist, so schienen sie mir doch unpassend zu sein, weil sie bei dem nothwendiger Weise längeren Verweilen der Objecte in den Flüssigkeiten der dritten Forderung nicht entsprachen, vielmehr auch die Zwischensubstanz der Canälchen färbten. Wahrscheinlich ist dies mit allen wässerigen Flüssigkeiten in mehr oder weniger hohem Grade der Fall.

Dagegen wird das vorgesteckte Ziel recht gut erreicht durch einen Auszug der Alkannawurzel mit Terpentinöl. Um diesen aber dunkel genug zu haben, genügt es nicht, ein Uebermaass von fein zerstossener Alkannawurzel mit Terpentinöl auszuziehen, man muss auch den filtrirten Auszug im Sand- oder Wasserbade noch eindicken. Ein so gefärbtes Terpentinöl dringt nur in die offenen Höhlen ein, ohne das übrige Gewebe zu färben.

Die vollständige Entfernung der Luft aus den feinen Canälchen erfolgt nicht so ganz leicht. Knochen- und Zahnschliffe kamen in einer solchen Flüssigkeit unter einen Luftdruck von nur 4 Millimeter, sie blieben drei Tage lang darin, und es wurden während dieser Zeit der Luftpumpe wiederholt kleine Schläge ertheilt; gleichwohl enthielten sie bei der Untersuchung noch Luft. Blieben sie indessen vier bis fünf Tage darin, so war alle Luft ausgetrieben und durch gefärbte Flüssigkeit ersetzt.

Wenn nun auch auf diesem Wege eine vollständige Füllung der Höhlen und Canäle möglich ist, so sind doch solche Präparate mit einer Unvollkommenheit behaftet, welche bei jenen nach Gerlach's Methode angefertigten sich nicht vorfindet: sie lassen sich nicht in Canadabalsam aufbewahren, ohne sich alsbald darin zu entfärben.

Man muss nur festhalten, dass die Anfüllung mit einer farbigen Flüssigkeit blos dazu dienen kann, das wirkliche Vorhandensein einer Höhle darzuthun, nicht aber die feinen Canälchen sichtbar zu machen; diese erkennt man am leichtesten, wenn sie mit Luft gefüllt sind, weil letztere bei durchfallendem Lichte schwarz erscheint. Dadurch hat die Luft einen Vorzug vor jedem andern färbenden Stoffe, zumal wenn die schwarze Färbung noch dadurch gehoben wird, dass man das Object in erwärmten und dann wieder erkalteten Canadabalsam bringt.

Die Methoden, mittelst deren man die Blutbahnen sichtbar machen 328
kann, lassen sich bei Pflanzen nicht in Anwendung bringen, weil die Ernährungsflüssigkeit sich bei ihnen in der Regel nicht frei in Gefässen oder Canälen bewegt, sondern durch endosmotische Wirkung aus einer Zelle in die andere übertritt. Freilich gelingt es, durch Injection oder capillare Aufsaugung die Gefässe in durchschnittenen Pflanzentheilen mit gefärbten Flüssigkeiten zu füllen; man hat aber so wenig Grund, hieraus zu schliessen, dass dies die natürlichen Saftwege in der lebenden

Pflanze sind, als man die Insectentracheen für Blutgefässe zu halten berechtigt ist, weil dieselben unter ähnlichen Umständen ebenfalls Flüssigkeit aufnehmen. Nur auf Eine Weise lässt sich mit Zuverlässigkeit der Weg angeben, dem die Säfte während des Lebens folgen: eine unverletzte Pflanze, die schon seit geraumer Zeit in einem Blumentopfe stand, so dass man annehmen kann, alle Wurzelfasern seien ganz unbeschädigt, wird mit einer Flüssigkeit begossen, deren Anwesenheit in der Pflanze sich späterhin auf die eine oder die andere Weise erkennen lässt. Wasserpflanzen kann man natürlich sogleich in eine solche Flüssigkeit setzen.

Man hat jedoch keine grosse Auswahl. Bis jetzt hat man es nicht dahin gebracht, dass gefärbte Flüssigkeiten unmittelbar in den Wurzeln aufsteigen, auch nicht solche, deren Farbstoff in Wasser aufgelöst ist, wie Auszüge von Lackmus, von Campescheholz u. s. w. Wird der Farbstoff überhaupt aufgenommen, so erleidet er in solchen Fällen eine Zersetzung, denn die Säfte in der Pflanze bleiben gleich wie früher ungefärbt. Bessern Erfolg hat man mit manchen Salzen, deren verdünnte Auflösungen zum Begiessen genommen werden, und deren Anwesenheit in den Geweben sich dann durch passende Reagentien nachweisen lässt. Am besten eignet sich dazu das blausaure Eisenoxydulkali, welches früher von Hönninger (Bot. Zeitung 1843, S. 200), später von Hoffmann (Ebend. 1848, S. 377. 1850, S. 17) auf diese Weise angewendet worden ist, und das auch ich bei einer Anzahl Pflanzen mit gutem Erfolge versucht habe. Es bedarf aber einiger Vorsichtsmaassregeln, wenn man damit zum Ziele kommen will.

Erstens darf man aus Gründen, die jeder mit der Pflanzenphysiologie nicht ganz Unbekannte von selbst einsehen wird, nur eine sehr verdünnte Auflösung nehmen. Ich nehme 1 Theil Salz auf 400 Theile Wasser.

Zweitens muss die Pflanze hinlänglich Zeit haben, die Flüssigkeit aufzunehmen. In der Regel sind 4 bis 6 Tage ausreichend. Am instructivsten sind dann jene Theile, welche noch wenig von der Flüssigkeit durchdrungen sind; an ihnen kann man am besten erkennen, welche Wege der Saft vorzugsweise wählt.

Drittens wird man finden, dass dieses Salz keineswegs von allen Pflanzen unverändert aufgenommen wird und sich durch Eisenoxydsalze darin nachweisen lässt, ungeachtet man aus den braunen Flecken auf den Blättern und aus anderen pathologischen Erscheinungen mit Bestimmtheit schliessen möchte, dass es in die Gewebe eingedrungen ist und darin chemische Veränderungen bewirkt hat. Das ist wichtig, weil, wenn in einer Pflanze oder in einem Pflanzentheile die blaue Reaction nicht eintritt, daraus nur geschlossen werden darf, entweder dass das Salz gar nicht eindrang, oder dass es zwar eingedrungen ist, aber eine chemische Veränderung erlitten hat, wodurch es die Eigenschaft verlor, mit Eisenoxydsalzen Berlinerblau zu bilden. Ich könnte dafür mehrere Beweise beibringen; doch will ich nicht in Einzelnheiten eintreten.

Was dann viertens das Verfahren anbelangt, wie man die Anwesenheit des blausauren Eisenoxydulkali durch die Solution eines Eisenoxydsalzes (schwefelsaures Eisenoxyd oder Eisenchlorid) nachweist, so stehen zwei Mittel zu Gebote, die ihre besonderen Vorzüge und Nachtheile haben. Entweder macht man Durchschnitte der Pflanze und befeuchtet diese mit der Eisensolution, oder man bringt den Pflanzentheil in eine verdünnte Solution des Eisensalzes und lässt dieselbe capillär durch die Gefässe aufsaugen, da es natürlich nicht möglich ist, sie durch die Wurzeln der unverletzten Pflanze aufsaugen zu lassen. Beim erstern Verfahren hat man daran zu denken, dass die aus dem frischen Schnitte kommende Flüssigkeit auch in Räume eindringen kann, worin sich im natürlichen Zustande der Pflanzengewebe in der Regel gar kein Saft befindet, z. B. in die Intercellularräume und in die Gefässe. Beim zweiten Verfahren dringt die Eisensolution aus den Gefässen allmälig in die angrenzenden Zellen, was indessen immer einige Zeit verlangt. Ist daher der Pflanzentheil nicht zu lange eingetaucht gewesen, so wird nur der Inhalt jener Holzzellen gefärbt erscheinen, welche unmittelbar um die Gefässe herum liegen, und überdies wird auch die Flüssigkeit in vielen Gefässen blau gefärbt sein, weil der Saft aus den Holzzellen dahin übergegangen ist. Macht man aber dort, wo das Eisenoxyd zuletzt eingedrungen ist, Längsdurchschnitte, so findet man die Gefässe mit der gelbgefärbten Flüssigkeit gefüllt und die benachbarten Zellen erscheinen blau. Es genüge aber, hier auf die verschiedenen Anlässe zu Irrthümern aufmerksam gemacht zu haben; die Anwendung auf den einzelnen Fall darf ich dem Leser überlassen.

Einen Umstand jedoch, der irre führen kann, will ich hier nicht mit Stillschweigen übergehen, das ist die Anwesenheit der das Eisen blau- oder schwarzfärbenden Gerbsäure und der Gallussäure. Deren Färbung durch Eisensalze hat in vielen Pflanzen, zumal bei durchfallendem Lichte, grosse Aehnlichkeit mit dem Berlinerblau. Darüber kann man sich aber bald Gewissheit verschaffen, wenn man das Präparat mit einer Säure behandelt, am besten mit Salpetersäure und Oxalsäure. Gerbsaures und gallussaures Eisenoxyd werden dadurch alsbald entfärbt, nicht aber Berlinerblau.

Die Aufbewahrung solcher gefärbten Pflanzenpräparate geschieht am besten so, dass man sie vorsichtig trocknet, das getrocknete Object dann mit Alkohol behandelt, um die Luft zu entfernen, und es endlich in Canadabalsam aufhebt.

Organische Häute oder Fasern besitzen nicht selten einen so hohen Grad von Durchsichtigkeit, dass sie, wenn sie zugleich farblos sind, im Gesichtsfelde des Mikroskops sich gar nicht oder doch kaum zu erkennen geben. Wenn namentlich ihr Brechungsvermögen jenem der umgebenden Flüssigkeit ziemlich gleichkommt, so geht auch die Sichtbarkeit der Ränder oder etwaiger Falten an den Membranen verloren, weil die 329

Lichtstrahlen zu schwach von ihrer Bahn abgelenkt werden. In einem solchen Falle kann man aber die Sichtbarkeit erhöhen, wenn man färbende Mittel benutzt. Am vortheilhaftesten bewährt sich hier Jodtinctur, wodurch alle organischen Membranen, namentlich die eiweisshaltigen, sich braungelb färben. Schultz hat schon vor vielen Jahren dargethan, dass die durch Wasserzusatz ganz durchsichtig gewordenen Blutkörperchen durch Zufügung von Jodtinctur wiederum sichtbar werden. Auch ganz feine Cilien werden dadurch recht deutlich.

Nicht so stark färbend wirkt die Chromsäure. Wird sie aber in einem nicht zu sehr verdünnten Zustande angewendet, so bewährt sie sich auch oftmals recht gut bei thierischen Substanzen; sie wirkt nicht blos färbend auf diese ein, sondern macht auch deren Ränder dunkler durch Zunahme des Brechungsindex.

Es giebt noch andere färbende Mittel für besondere Fälle. Untersucht man Knochen- und Zahnschliffe, so ist es zweckmässig, wenn man diese zuerst ein paar Stunden in einer Solution von Blutlaugensalz liegen lässt, hierauf mit Wasser gut abspült und dann mit einer Eisenoxydsalzlösung befeuchtet. So tritt natürlich die blaue Farbe am intensivsten an den Punkten hervor, wo die zuerst genannte Flüssigkeit am stärksten eingedrungen ist, in den geöffneten Knochenzellen und an den Rändern der concentrischen Knochenlamellen.

Man kann ferner bei vielen kleinen Wasserthierchen, bei den Räderthieren und Infusorien, durch Farbstoffe, die aber dann aus kleinen Molekeln bestehen müssen, die Wege nachweisen, welche von den Ernährungsmaterien durchlaufen werden. Gewöhnliche Wasserfarben, namentlich Karmin, Indigo oder chinesische Tinte, mit dem Wasser abgerieben, worin sich die Thierchen befinden, sind hierzu am meisten geeignet.

Ferner ist noch die Methode von Gerlach zu erwähnen, durch eine ammoniakalische Karminsolution thierische Gewebe zu färben. Die Intercellularsubstanz nämlich wird dadurch wenig oder gar nicht gefärbt, die Zellen aber nehmen den Farbstoff auf, und am stärksten färben sich die Kerne und alle denselben entsprechenden Gebilde. Am deutlichsten sieht man dies an dünnen Knorpelschnitten. Besonders aber scheint dieses Mittel geeignet, den Bau der Centraltheile des Nervensystems aufzuhellen, da sich die Ganglienzellen und deren Ausläufer dadurch färben, deren Verlauf man also dadurch am besten wird kennen lernen. Aber auch zur Aufhellung der Structur der peripherischen Nervenenden kann es sich nützlich bewähren.

Gerlach (Mikroskopische Studien aus dem Gebiete der menschlichen Morphologie. Erlangen 1858, S. 3) empfiehlt eine sehr verdünnte Auflösung, nämlich auf 1 Unze Wasser 2 bis 3 Tropfen der concentrirten ammoniakalischen Karminsolution; darin soll man die Durchschnitte 2 bis 3 Tage liegen lassen. Man kann auch die unverdünnte Solution nehmen, nur lässt man dann die zu färbenden Gewebe blos einige Secun-

den darin und spült sie dann mit Wasser ab. Uebrigens muss ich noch anführen, dass bei etwas längerer Einwirkung auch die Wandungen der Gefässe, und zwar der Stämme sowohl als der Capillaren, dadurch eine rothe Färbung bekommen, worauf man zu achten hat, um Verwechselung zu vermeiden *).

Schliesslich habe ich noch ein Verfahren von ganz anderer Art zu 330
erwähnen, das auch dazu beitragen kann, in zweifelhaften Fällen die Textur mikroskopischer Objecte aufzuklären. Man sucht nämlich Abdrücke der Oberflächen zu bekommen. Wenham (*Quart. Journ.* 1855. XI, p. 244) benutzte die Galvanotypie, um sich Abdrücke von Diatomeen zu verschaffen. Die dem Kupferhäutchen noch anhängenden Kieselschalen wurden dadurch entfernt, dass man mit einer starken Aetzkalisolution kochte. Als er dann die im Kupfer entstandenen Abdrücke bei auffallendem Lichte betrachtete, liessen sich die feinen Streifen der Diatomeenschalen erkennen.

Einen gleichartigen, wenn auch in gewisser Beziehung gerade umgekehrten Weg hatte schon früher Gorham (*Quart. Journ.* 1853. II, p. 84) eingeschlagen, indem er durchsichtige Abdrücke von an sich undurchsichtigen Objecten nahm. Er gebraucht dazu Collodium, welches mit rothem Sandelholze schwach gefärbt ist: mit einem Pinsel streicht er dasselbe vier bis fünf Mal auf das Object. Ist die dünne Collodiumschicht durch Verdampfen des Aethers trocken geworden, dann lässt sich dieselbe leicht von der Oberfläche abnehmen und man kann sie nun wie ein gewöhnliches Object bei durchfallendem Lichte betrachten. Hat man Mineralien, Schalen, Polypenstöcke, die Oberhaut von Pflanzen oder Gliederthieren, die Hornhaut von Gliederthieren u. s. w. zu untersuchen, dann kann dieses Hülfsmittel allerdings gute Dienste leisten.

---

*) Um Anderen eine nutzlose Mühe zu ersparen, bemerke ich hier sogleich, dass ich vergeblich eine blaue Färbung der Ganglienzellen erstrebt habe, ebensowohl durch eine Solution von Berlinerblau in Oxalsäure, als durch die successive Einwirkung von Blutlaugensalz und schwefelsaurem Eisenoxyd.

Vierter Abschnitt.

Die physikalischen und chemischen Hülfsmittel zur Bestimmung mikroskopischer Objecte.

331 Zweierlei Mittel führen in der Naturwissenschaft zum Auffinden der Wahrheit, die Beobachtung und der Versuch. Bei der Erforschung der mikroskopischen Objecte müssen diese beiden Hülfsmittel ebenfalls ihre entsprechende Anwendung finden. Es genügt nicht, die Objecte im gewöhnlichen Zustande zu untersuchen, worin sie dem beobachtenden Auge sich darbieten; sie müssen auch absichtlich der Einwirkung verschiedener physikalischer und chemischer Kräfte unterworfen werden, und die hierdurch erzeugten Veränderungen muss man mit bewaffnetem Auge untersuchen, d. h. mit anderen Worten: der Objecttisch des Mikroskops muss ein Laboratorium im Kleinen sein, und die darauf befindlichen Objecte sollen solchen physikalischen und chemischen Agentien ausgesetzt werden, von denen man mit einiger Wahrscheinlichkeit erwarten darf, sie werden die Natur des Körpers in physikalischer oder chemischer Hinsicht näher aufklären.

Wenn daher im vorigen Abschnitte hauptsächlich die Mittel untersucht wurden, wodurch der Mikroskopiker in den Stand gesetzt wird, die morphologische Seite der Objecte kennen zu lernen, so haben wir uns jetzt mit jenen zu beschäftigen, wodurch hauptsächlich die den Objecten innewohnenden Kräfte zur Wahrnehmung kommen sollen.

332 Die allgemeine Attractionskraft wirkt unter der Form der Schwere eben so gut auf die kleinsten Staubtheilchen, die eben noch durchs Mikroskop wahrnehmbar sind, als auf die grössten Körper unserer Erdoberfläche. Bis jetzt stehen uns allerdings keine mechanischen Hülfsmittel zu Gebote, mittelst deren wir die mikroskopischen Objecte wägen

und ihr absolutes oder ihr specifisches Gewicht bestimmen könnten. Ist nun aber auch eine directe Wägung nicht möglich, so können wir doch in manchen Fällen auf einem Umwege zur Kenntniss ihres Gewichts gelangen. Man braucht nämlich nur Zweierlei zu kennen, den Inhalt des Körperchens und dessen specifisches Gewicht. Zur Auffindung des erstern müssen die verschiedenen mikrometrischen Methoden in Anwendung kommen, von denen weiterhin ausführlicher die Rede sein wird. Das specifische Gewicht aber kennt man für viele Körper aus den im Grossen vorgenommenen Bestimmungen.

Ein Beispiel möge zur Erläuterung dienen. Man will z. B. wissen, wie viel eine von den kleinen Diatomeenschalen wiegt, aus denen der Polirschiefer von Bilin besteht. Diese Kieselschalen bilden kurze Cylinder mit einem mittlern Querdurchmesser von $9{,}3^{mmm}$ und 5^{mmm} Höhe. Ihr mittlerer Inhalt beträgt daher 339 Cubikmikromillimeter, und auf einen Cubikcentimeter kommen 2950 Millionen Stück. Die Kieselsäure hat nach Beudant ein specifisches Gewicht = 2,654. Da nun ein Cubikcentimeter Wasser 1 Gramm wiegt, so kommen auf 2950 Millionen solcher Diatomeenschalen 2,654 Gramme, somit wiegt eine einzelne Schale 0,0000000009 Gramm oder etwa $^{1}/_{1111000}$ Milligramm. Auf solche Weise lässt sich das Gewicht vieler anderer aus anorganischer Substanz bestehender Körperchen berechnen, wenn aus ihrer Form der Inhalt gefunden werden kann, aber ebenso auch mancher organischer Körper, der Fettkügelchen, der Blutkörperchen u. s. w.

Man muss indessen zugeben, dass die Resultate solcher Berechnungen eher als Curiosität sich darstellen, als dass sie auf wissenschaftlichen Werth Anspruch machen können. Von grösserem Werthe würde es sein, wenn man die relative Menge der verschiedenen Bestandtheile, woraus ein Object bei der mikroskopischen Untersuchung zu bestehen scheint, aufzufinden im Stande wäre. Gewichtsbestimmungen sind hier jedoch ganz unmöglich, und muss man sich damit begnügen, ihren Antheil am Volumen durch Messen und Zählen an einer Anzahl verschiedener Punkte festzustellen, wobei die Kenntniss des quadratischen Inhalts des Gesichtsfeldes sehr zu Statten kommt. Die nöthige Anweisung hierzu findet sich §. 221.

Zu den Kennzeichen der Objecte, die man durchs Mikroskop sieht, 333
gehört auch deren verschiedenes specifisches Gewicht. Die meisten Untersuchungen nämlich werden an Körperchen vorgenommen, die von Wasser umgeben sind oder darin schwimmen. Da nun zwischen dem Glastäfelchen, worauf das Object befindlich ist, und dem darauf liegenden Deckplättchen immer noch einiger Raum übrig bleibt, so werden alle Körperchen, welche schwerer sind als Wasser, nach einiger Zeit sinken jene dagegen, welche leichter als Wasser sind, werden nach dem Deckplättchen aufsteigen. Schon vermöge dieser Eigenschaft kann man Fettkügelchen und kleine Luftbläschen von einer Menge anderer Körper un-

terscheiden, mit denen sie einige Aehnlichkeit haben, von kleinen Amylumkörnern, Pigmentmolekeln, Blutkörperchen, Präcipitatkörperchen aus kohlensaurem Kalke, kohlensaurer Bittererde, Schwefel u. s. w.

Die Verschiedenheit des specifischen Gewichts zieht bei sehr kleinen mikroskopischen Körperchen auch noch eine andere Folge nach sich, auf die ich schon früher (§. 288) mit einem Worte hingewiesen habe, dass nämlich ihre Molekularbewegung um so früher aufhört, je grösser dieses specifische Gewicht ist, und dass auch ausserdem die an der Bewegung Theil nehmenden Körperchen um so grösser sind, je geringer ihr specifisches Gewicht ausfällt. Kleine Amylumkörner, z. B. ein Theil jener, welche im Weizenmehle vorkommen, zeigen keine Molekularbewegung, während doch die Butterkügelchen der Milch, worunter sich gleich grosse befinden, starke Molekularbewegung haben; auch fehlt eine solche nicht den viel kleineren Amylumkörnchen in der *Fovilla* mancher Pollenkörnchen. Man ist mithin berechtigt, aus dem Vorhandensein der Molekularbewegung, aus derer kürzerer oder längerer Dauer, sowie aus der Grösse der daran betheiligten Körperchen auf das grössere oder geringere specifische Gewicht der Substanz, woraus die Körperchen bestehen, einen Schluss zu ziehen.

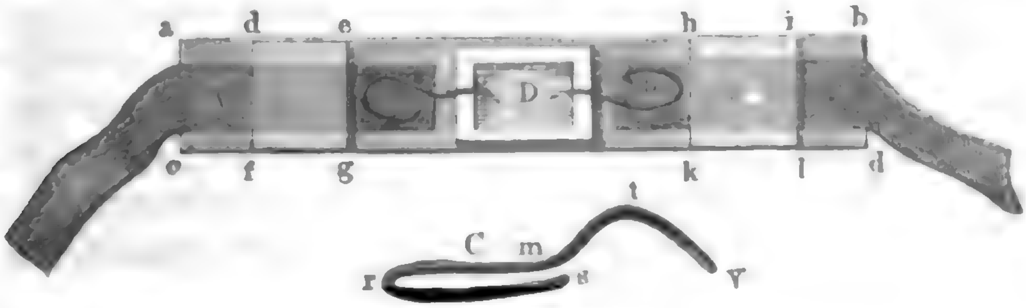
Ein solcher Schluss ist nur dann als berechtigt anzusehen, wenn keine Umstände obwalten, wodurch die Molekularbewegung auf mechanische Weise behindert wird, wie es namentlich bei solchen Körperchen vorkommt, die gleich vielen organischen Theilchen nicht in reinem Wasser sich befinden, sondern von einer schleimigen Flüssigkeit umgeben sind. Die feinkörnige, aus ungemein kleinen Körperchen bestehende Masse, die einen Theil der grauen Substanz von Gehirn und Rückenmark ausmacht, kann hier als Beispiel dienen. Wie klein auch diese Körperchen sind, man sieht sie niemals in Bewegung, so lange sie mitten in ihrem Gewebe liegen, trotzdem dass ihr specifisches Gewicht nur wenig über dem des Wassers stehen kann.

Das Gleiche gilt auch von den ebenfalls ungemein kleinen Körperchen, aus denen zahlreiche sogenannte flockige, organische und anorganische Präcipitate bestehen, welche im Augenblicke des Entstehens durch einen Theil ihrer Masse zusammenhängen, die noch eine Zeit lang mit Wasser verbunden bleibt und woraus sich erst allmälig die festen Bestandtheile abscheiden. Dabei bietet sich zugleich die Gelegenheit, die Wirkung der Molekularattraction durchs Mikroskop zu beobachten und wahrzunehmen, wie aus den kleineren Körperchen durch wechselseitige Anziehung und Verschmelzung allmälig grössere entstehen.

334 Um den elektrischen Strom durch die Objecte leiten zu können, die sich im Gesichtsfelde des Mikroskops befinden, kann man einen Apparat nehmen, der mit dem bekannten allgemeinen Auslader ganz übereinstimmt, jedoch viel kleiner ist und eine derartige Einrichtung hat, dass sich die Polenden unters Mikroskop bringen lassen. Dieser kleine

Apparat, dessen nähere Beschreibung im dritten Buche folgt, entspricht zwar dem Zwecke vollkommen; indessen verdient die folgende Einrichtung (Fig. 152) wegen ihrer Einfachheit und weil sie Jedermann so

Fig. 152.



Elektrischer Apparat.

leicht herstellen kann, den Vorzug. Man nimmt nämlich einen Streifen Spiegelglas *abcd* von 10 bis 12 Centimeter Länge auf etwa 3 Centimeter Breite und klebt mit Stärkekleister zwei etwas schmalere Streifen Stanniol, *A* und *B*, so darauf, dass ein Theil des Stanniols an beiden Enden frei überragt und ein Raum von $2^1/_2$ bis 3 Centimeter dazwischen übrig bleibt. Darüber werden dann mit einer Mischung von Pech und Harz, oder mit dem früher beschriebenen Guttaperchaleim oder Seeleim wiederum zwei Glasstückchen *defg* und *hikl* befestigt und zwar in solcher Entfernung von einander, dass die Stanniolstreifen gehörig isolirt bleiben, wenn das Ganze zwischen die federnde Klammer des Objecttisches kommt. Die Poldrähte *n* und *p* sind nicht befestigt, und bestehen aus geglühtem Kupferdrahte oder noch besser aus Platindrahte, der wie bei *C* gebogen ist: der Theil *mrs* nämlich liegt auf dem Stanniol, und ein anderer Theil *mtv* liegt zu jenem in einer senkrechten Ebene. Die Biegung bei *m* erfolgt je nach den Umständen in einem mehr oder weniger stumpfen Winkel, und die Enden der Drähte können nach Willkür einander näher rücken oder entfernter bleiben. Mitten auf die Glastafel bei *D* bringt man dann das Object. Da die meisten Versuche an organischen Körperchen angestellt werden, die von Wasser umgeben sind, so nimmt man dazu einen kleinen Glas- oder Guttaperchatrog (§. 297), und taucht die Drahtenden in das Wasser, womit derselbe gefüllt ist.

Die frei herabhängenden Enden der Stanniolstreifen kann man nun mit den Polen elektrischer oder galvanischer Apparate in Verbindung setzen. Zu mikroskopischen Untersuchungen, wenn man z. B. den Einfluss des elektrischen Stroms auf die Flimmerbewegung, auf den Blutumlauf, auf die Rotationen in Zellen, auf die Lebensäusserungen kleiner Thierchen, auf die Muskelzusammenziehungen u. s. w. prüfen will, eignet sich jedoch am besten ein kleiner Inductions- oder Rotationsapparat, wie man sie in der Heilkunst anzuwenden pflegt.

Mancherlei Vorkehrungen hat man erdacht, um mittelst des Mikroskops den Einfluss zu untersuchen, den eine erhöhte Temperatur auf die Objecte ausübt. Die beste von diesen Einrichtungen, nämlich jene 335

von **Chevalier**, welche weiterhin von **Lawrence Smith** und von **Nachet** verbessert wurde, wird weiter unten beschrieben werden; dieselbe passt aber nur für solche Mikroskope, in denen die Strahlen, nachdem sie durch das Objectivsystem gegangen sind, durch ein gläsernes Reflexionsprisma horizontal gestellt oder in eine schief aufsteigende Richtung gebracht werden.

Eine allgemeinere Anwendung findet die Methode von **Raspaïl**, welche darin besteht, dass der zu erwärmende Körper, z. B. ein Uhrglas mit Wasser und einigen Stärkemehlkörnern, in die Oeffnung des Objecttisches kommt, alsdann aber der Beleuchtungsapparat weggenommen und durch die Flamme einer Lampe ersetzt wird. Um zu verhüten, dass dabei die Gläser des Objectivsystems durch die aufsteigenden Dämpfe beschlagen, bedeckte er letzteres mit einer nach unten kugelförmig zugeblasenen gläsernen Röhre. Zweckmässiger ist es indessen, statt derselben ein in Fig. 153 dargestelltes messingenes Rohr *abcd* zu nehmen, das weit genug ist, um über den untersten Theil des Mikroskoprohrs geschoben zu werden, und das von unten bei *cd* durch eine gerade Glasplatte hermetisch geschlossen ist. Dieses geschlossene Ende wird dann während der Erwärmung in die Flüssigkeit getaucht und auf diese Weise kann man alles beobachten, was sich darunter befindet, ohne dass die aufsteigenden Dämpfe das Objectiv erreichen und das Gesichtsfeld verdunkeln.

Fig. 153.



Hülse zum Abhalten der Flüssigkeit.

Es lässt sich aber nicht in Abrede stellen, dass alle Beobachtungen, die während der Erwärmung einer Flüssigkeit angestellt werden, nur wenig Werth haben. Es ist nämlich nicht möglich, dass man die nämlichen Objecte fortwährend im Gesichtsfelde behält, und zwar wegen der stetigen Strömung, welche in Folge der Erwärmung in der Flüssigkeit entsteht. Dadurch kommen die darin enthaltenen Körperchen, deren durch die Wärme bewirkte Veränderungen man kennen lernen will, in eine anhaltende auf- und niedersteigende Bewegung, und somit wird jede genauere Beobachtung unmöglich gemacht. Deshalb ist es besser, wenn man die Untersuchung nicht während der Erwärmung selbst, sondern nach deren Beendigung vornimmt, wenn die Strömungen in der Flüssigkeit aufgehört haben, und dazu ist es ganz ausreichend, wenn man die vorher erwärmten Objecte nach stattgefundener Abkühlung unters Mikroskop bringt. Wird dabei Sorge dafür getragen, dass die nämlichen oder doch gleichartigen Objecte stufenweise einer immer etwas höheren Temperatur ausgesetzt werden, so ist man in den Stand gesetzt, alle Grade der Einwirkung und die damit verbundenen Veränderungen kennen zu lernen.

Ebenso kann man auch organische Körper vorher der Glühhitze aussetzen, um die Form und die Beschaffenheit der dabei zurückbleibenden unverbrennlichen Bestandtheile kennen zu lernen. Dabei verfährt man am besten auf die Weise, dass man die zu verbrennenden Objecte

zuerst mit Wasser befeuchtet, auf einem dünnen und schmalen Glasstreifen ausbreitet, dann aber, wenn die Flüssigkeit an der Luft verdunstet ist, das Glastäfelchen mit dem ganz getrockneten Körper in die Flamme einer Alkohollampe hält. Da übrigens das dünne Glasplättchen durch die Wärme der Flamme leicht zerspringen kann, so ist es räthlich, dasselbe vorher auf ein Stückchen Platinablech zu legen und beide zusammen in die Flamme zu halten. Alle vegetabilischen Körper verbrennen darin mit Leichtigkeit; zur vollkommenen Verbrennung animalischer Theile bedarf es aber in der Regel einer stärkeren Wärme und dazu eignet sich am besten die Löthrohrflamme. Soll die Asche des verbrannten Körpers späterhin einer mikrochemischen Untersuchung unterworfen werden, so ist es in der Regel besser, wenn statt eines Glastäfelchens nur ein Stückchen Platinablech genommen wird, denn die Aschenbestandtheile mancher, zumal animalischer, Substanzen schmelzen mit dem Glase zusammen und lassen sich schwer davon wegbringen.

Es könnte überflüssig erscheinen, wenn hier noch ausdrücklich des 336
Lichts Erwähnung geschieht, als Hülfsmittel für die Bestimmung mikroskopischer Objecte, da ja die ganze mikroskopische Beobachtung lediglich auf einer passenden Anwendung desselben beruht. Durch die Kenntniss jener Gesetze indessen, denen die Lichtstrahlen beim Durchgange durch die brechenden Medien folgen, sind Mittel geboten, um mit Hülfe des Mikroskops das Brechungsvermögen von Substanzen zu erkennen, bei denen diese Bestimmung auf einem andern Wege nicht möglich sein würde, entweder wegen der geringen Menge der Substanz, oder weil dieselbe nur in sehr dünnen Schichten einen ausreichenden Grad von Durchsichtigkeit besitzt.

Bereits vor vielen Jahren hat Brewster (*Treatise on new Philosophical Instruments*. Edinb. 1813, p. 240) das Mikroskop zu diesem Zwecke benutzt, und zwar ein zusammengesetztes Mikroskop, dessen Objectivglas eine gleichseitige biconvexe Linse von nicht zu kurzer Brennweite ist. Dieses Objectivglas wird hermetisch in einen messingenen Ring gefasst, den man mit der Substanz anfüllt, deren Brechungsvermögen bestimmt werden soll. Hierauf wird die obere Oeffnung des Ringes geschlossen, indem man ihn durch ein scheibenförmiges Glastäfelchen mit parallelen Oberflächen bedeckt, so dass die eingebrachte Substanz einer planconcaven Linse entspricht, deren concave Seite auf dem biconvexen Objectivglase aufliegt. Somit ist das Objectiv jetzt eine planconvexe Doppellinse geworden, wie wenn eine Flintglaslinse und eine Kronglaslinse zu einer achromatischen Doppellinse vereinigt werden, nur mit dem Unterschiede, dass die gewölbte Seite hier nach unten sieht und die ebene Seite nach oben.

Durch diese Umwandlung des biconvexen Objectivs in ein planconvexes wird die Brennweite natürlich eine bedeutend grössere und damit nimmt auch die Entfernung zu, in der sich ein Object befinden muss,

wenn es am deutlichsten durchs Mikroskop wahrgenommen werden soll. Je grösser aber das Brechungsvermögen jener, die planconvexe Linse bildenden Substanz ist, um so mehr wird diese Entfernung zunehmen.

Damit das Auge bei den verschiedenen Beobachtungen möglichst den gleichen Accommodationszustand habe, kann man nach Brewster's Rath ein Ocular mit einem darin ausgespannten Faden benutzen; wenn dieser bei jeder Beobachtung immer ein scharf ausgedrücktes Netzhautbild giebt, so ist dies ein Beweis für eine gleichmässige Anstrengung des Accommodationsvermögens.

Zur Berechnung des Brechungsvermögens ist die Kenntniss folgender Data erforderlich:

1. Radius der Oberflächen der biconvexen Linse $= r$;

2. Entfernung des Objects von der biconvexen Linse, bei welcher dasselbe, wenn blos Luft zwischen Linse und Glastäfelchen sich befindet, scharf gesehen wird, $= a$;

3. Entfernung des Objects von der biconvexen Linse, wobei dasselbe scharf gesehen wird, wenn zwischen der Linse und dem Glastäfelchen die zu untersuchende Substanz befindlich ist, $= b$.

Nehmen wir das Brechungsvermögen dieser Substanz $= n$, so ist:

$$n = 1 + \frac{(b-a)\,r}{ab} \text{*)}.$$

Es hat diese Brewster'sche Methode den Vorzug, dass man von jeder Substanz, welche flüssig oder doch wenigstens weich genug ist, dass sie durch Zusammenpressen die Form einer Linse annimmt, den Brechungsindex bestimmen kann, auch wenn die Substanz nur wenig durchsichtig ist; die grössere Dünne der Schicht, durch welche das Licht tritt, kann die unvollkommene Durchsichtigkeit ersetzen. Mancherlei Körper, wie Wachs, Pech, Opium u. s. w., die in Masse ganz undurchsichtig sind, bekommen, wenn sie zu einer dünnen Schicht zusammengepresst werden, so viel Durchsichtigkeit, dass auf die angegebene Art ihr Brechungsvermögen sich ermitteln lässt.

Indessen ist diese Methode auch nicht von Nachtheilen frei. Erstens belastet sie das Mikroskop mit einem eigenen Apparate, nämlich einem ausdrücklich dazu eingerichteten Objective und einer sehr genauen mikrometrischen Einrichtung, um die Entfernung messen zu können, in welche das Object, wenn es scharf gesehen werden soll, gebracht werden muss. Zweitens muss man den Radius der Oberflächen der bicon-

---

*) Diese Formel verdanke ich meinem Collegen van Rees, und ich habe sie der Brewster'schen substituirt, weil letztere voraussetzt, dass man den Brechungsindex der biconvexen Linse kenne; dies ist aber doch nur in dem Falle möglich, wenn man eine solche Linse ausdrücklich für diesen Zweck aus einem Glase schleifen lässt, dessen Brechungsindex man durch eine vorausgegangene Bestimmung kennen gelernt hat.

vexen Glaslinse genau kennen, und das ist bei mikroskopischen Objectivlinsen in der That eine der schwierigsten Aufgaben. Drittens entsteht noch die Frage, von welchem Punkte soll die Entfernung des Objects gemessen werden? Brewster scheint die untere Fläche der Linse als Ausgangspunkt angenommen zu haben, aber gewiss nicht mit Recht; denn der wahre Anfangspunkt, der optische Mittelpunkt, liegt eigentlich im Innern der Doppellinse, und zwar an einer veränderlichen Stelle, je nach der Dicke und nach dem Brechungsvermögen der Substanz, woraus die planconvexe Linse besteht. Deshalb ist es nicht wohl möglich, jene Entfernung mit der Genauigkeit zu bestimmen, welche zu einer Berechnung erforderlich ist.

Noch andere zu dem nämlichen Ziele führende Methoden wurden von Moser und späterhin von Bertin angegeben. Moser (Repertorium der Physik V, S. 395) befestigt ein Objectiv mit grosser Brennweite (er nimmt dazu jenes von einem gewöhnlichen zum Ablesen bestimmten Mikroskope) an ein Rohr von 14 Zoll Länge oder darüber und fügt an dessen anderes Ende das Ocular. Man findet dann den Brechungsindex einer durchsichtigen Lamelle mit parallelen Flächen oder auch einer Flüssigkeitsschicht durch die Formel $x = r\left(1 - \frac{1}{n}\right)$, wo durch x die Entfernung bezeichnet wird, bis zu welcher das Rohr verschoben werden muss, wenn ein Object, ohne und mit Bedeckung durch die zu prüfende Substanz, successiv mit Schärfe sichtbar sein soll, durch r die Dicke der durchsichtigen Lamelle oder Schicht, und durch n der Brechungsindex. — Bertin's Verfahren theilte Regnault am 2. April 1849 der französischen Akademie mit. Um den Brechungsindex einer Glasplatte zu bestimmen, verfährt derselbe folgendermaassen. Bei feststehendem Objective, dagegen aber beweglichem Oculare, misst er die drei Vergrösserungen G, γ und g eines Mikrometers, wenn dieses zuerst auf die Glaslamelle, dann unter dieselbe gelegt wird und wenn man zuletzt die Glaslamelle wegnimmt. Man findet dann den Brechungsindex n nach der Formel

$$n = \frac{\gamma}{g} \cdot \frac{G - g}{G - \gamma}.$$

Ist die Lamelle sehr dick, so ist es besser, man vergleicht sie mit einer andern, deren Brechungsindex bekannt ist, nach der Formel

$$\frac{e\left(1 - \frac{1}{n}\right)}{e'\left(1 - \frac{1}{n'}\right)} = \frac{\frac{1}{g} - \frac{1}{\gamma}}{\frac{1}{g'} - \frac{1}{\gamma'}}$$

Dieses Verfahren lässt sich auch bei Flüssigkeiten in Anwendung bringen. Der mögliche Fehler würde höchstens eine Einheit der Hunderttheile erreichen. Eine ausführliche Mittheilung über dieses Verfahren

gab Bertin (*Annales de Chimie et de Physique* 1849. XXVI, p. 288) späterhin selbst.

337 Die folgende Methode ist zwar von beschränkterer Anwendbarkeit als jene von Brewster, da sie nur für Flüssigkeiten passt. Dafür ist sie aber auch mit jedem Mikroskope ausführbar, ohne dass man noch einen besondern Apparat beizufügen braucht, und sie giebt sehr genaue Resultate, wenn mit gehöriger Sorgfalt dabei verfahren wird. Als ein Vorzug ist es auch noch zu erwähnen, dass man dabei nur ganz geringe Flüssigkeitsmengen braucht; ein paar Milligramme reichen schon aus, den Brechungsindex einer Flüssigkeit zu bestimmen.

Es gründet sich diese Methode auf die ungleiche Grösse der Bilder, welche man von dem nämlichen, in gleicher Entfernung befindlichen Objecte durch gleichgrosse Luftbläschen erhält, je nachdem diese in einer Flüssigkeit von ungleichem Brechungsvermögen vorkommen. Wie sehr die Grösse dieser Bilder differirt, ist daraus zu entnehmen, dass deren relative Grösse ist:

Wasser	(n = 1,336) =	1000
Schwefelsäure . .	(n = 1,416) =	749
Canadabalsam . .	(n = 1,504) =	582

Zur Berechnung des Brechungsindex ist nun Folgendes erforderlich:

1. In einer dünnen, durch parallele gerade Flächen begrenzten Schicht der Flüssigkeit müssen sich einige Luftbläschen befinden, die als Zerstreuungslinsen wirken und Bilder eines darunter befindlichen Objects entwerfen. Zu dem Ende bringt man auf ein Glastäfelchen einen Tropfen der Flüssigkeit, in der man dann einige Luftbläschen erzeugt, indem man mit einem feinen an der Löthrohrflamme ausgezogenen Glasröhrchen hineinbläst, oder indem man ein aufgelegtes Deckplättchen mit einer Pincette ein paar Mal aufhebt, wodurch ganz leicht Luft in die Flüssigkeit gelangt. Hierauf legt man um den Tropfen herum auf das Glastäfelchen einen kleinen Papierring und auf diesen ein dünnes Deckplättchen. Einzelne Luftblasen verlieren dabei ihre Kugelform und sind für den beabsichtigten Zweck unbrauchbar; man erkennt dies sogleich an dem verdrehten Aussehen der entstehenden Bilder. Immer bleiben noch genug Bläschen übrig, unter denen scharf begrenzte Bilderchen entstehen. Die als Objecttafel benutzte Glastafel darf nicht über 0,2 Millimeter Dicke haben; denn eine dickere übt auf den Gang der Strahlen einen Einfluss, der bei der Berechnung nicht vernachlässigt werden dürfte. Ein gewöhnliches dünnes Deckplättchen von Glas kann dazu recht füglich genommen werden.

2. Als Object benutzt man am besten einen weissgefärbten Metallstreifen, dessen Durchmesser natürlich mit der grössten Sorgfalt bestimmt sein muss. Dieser Metallstreif kommt unter den Objecttisch und zwar parallel mit diesem auf ein passendes Gestelle zu liegen, so dass seine Mitte genau in der verlängerten optischen Axe des Mikroskops sich befindet.

3. **Auch die Entfernung zwischen der Oberfläche des Objects und dem Luftbläschen muss so genau als möglich ermittelt werden.** Ich habe bei meinen Messungen eine feststehende Entfernung von 10 Millimeter eingehalten, weil mit dieser Zahl gut zu rechnen ist. Auch wird diese Entfernung nach der Einrichtung der meisten Mikroskope wohl die passendste sein.

Zwischen dieser Entfernung und dem Durchmesser des Objects muss ein gewisses Verhältniss obwalten. Beträgt nämlich der letztere mehr als $^1/_5$ der erstern, so macht sich eine Correction des Endresultats nöthig, weil dann die vom Objecte kommenden Randstrahlen zu schief einfallen, als dass die Differenz zwischen dem Einfallswinkel und dem Brechungswinkel ausser Acht gelassen werden dürfte.

4. **Ist das Mikroskop so aufgestellt, dass man das Bild des Objects deutlich sieht, dann muss der Durchmesser des Luftbläschens gemessen werden, sowie die Breite des darunter sich erzeugenden Bildchens.** Behufs dieser auf einander folgenden Messungen muss die Entfernung des Objectivs von dem Objecttische etwas verändert werden, weil die Ränder des Luftbläschens und des Bildes sich nicht in der nämlichen Ebene befinden.

Da die Richtigkeit des Resultats grösstentheils von der Genauigkeit abhängig ist, womit diese Messungen ausgeführt werden, so kann man bei deren Vornahme nicht sorgfältig genug verfahren. Ich verweise in Betreff der hierbei zu befolgenden Methoden auf den über Mikrometrie handelnden Abschnitt. Nur will ich nicht unterlassen, noch ausdrücklich anzugeben, dass diese Messungen bei auffallendem Lichte vorgenommen werden müssen, weil man bei durchfallendem Lichte in Folge der Diffraction immer etwas zu kleine Werthe erhält. Das ist auch der Grund, weshalb der als Object dienende Metallstreif weiss gefärbt sein muss.

Ein ferneres Erforderniss ist es, dass die Messungen des Luftbläschens und des Bildes unmittelbar nach einander vorgenommen werden, ebensowohl, um den möglichen Einfluss einer Temperaturänderung zu vermeiden, als auch aus dem Grunde, weil die Luft von der Mehrzahl der Flüssigkeiten, namentlich aber von den organischen, allmälig absorbirt wird, weshalb der Durchmesser der Luftbläschen nach einiger Zeit auffallend abgenommen hat. Deshalb darf man sich nicht mit einem einmaligen Messen eines Luftbläschens und des dadurch erzeugten Bildes begnügen, vielmehr muss man die Messung an dem nämlichen Luftbläschen einige Male wiederholen und dann den Mittelwerth für die Berechnung zu Grunde legen.

Es sei nun

die Entfernung zwischen Object und Luftbläschen $= a$
der Durchmesser des Objects . . . . $= b$
der Durchmesser des Bildes . . . . $= c$
der Durchmesser des Luftbläschens . . . . $= d$

so findet man den Brechungsindex n nach folgender Formel*), die ich meinem Collegen **van Rees** verdanke:

$$n = {}^1\!/_2 + \sqrt{{}^1\!/_4 + \frac{(b - c)\, d}{4\, a\, c}},$$

oder da c im Verhältniss zu b als unendlich klein gelten kann,

$$n = {}^1\!/_2 + \sqrt{{}^1\!/_4 + \frac{b\, d}{4\, a\, c}}.$$

Ist, wie oben angenommen, $a = 100$, $b = 20$, oder im Allgemeinen $b = {}^1\!/_5\, a$, dann ist

$$n = {}^1\!/_2 + \sqrt{{}^1\!/_4 + \frac{d}{20\, c}}.$$

Ein Paar nach dieser Methode erhaltene Werthe mögen hier eine Stelle finden, damit der Leser in den Stand gesetzt werde, über den Grad von Genauigkeit, deren dieselbe fähig ist, ein Urtheil zu fällen.

Wässerige Flüssigkeit aus der vordern Augenkammer einer Kuh.

Nach einer ersten Bestimmung ist	$n = 1{,}3495$
„ „ zweiten „ „	$n = 1{,}3457$
„ „ dritten „ „	$n = 1{,}3494$
„ „ vierten „ „	$n = 1{,}3496$
„ „ fünften „ „	$n = 1{,}3465$.
Im Mittel also ist	$n = 1{,}3481$.
Grösste Differenz der gefundenen Werthe . .	0,0039.
Wahrscheinlicher Fehler des mittlern Werthes	0,0005.

Glasflüssigkeit aus dem nämlichen Auge.

Nach einer ersten Bestimmung ist	$n = 1{,}3412$
„ „ zweiten „ „	$n = 1{,}3421$
„ „ dritten „ „	$n = 1{,}3474$
„ „ vierten „ „	$n = 1{,}3464$
„ „ fünften „ „	$n = 1{,}3426$.
Im Mittel ist also	$n = 1{,}3439$.
Grösste Differenz	0,0062.
Wahrscheinlicher Fehler	0,0007.

Flüssigkeit zwischen den hintersten Fasern der Krystalllinse des nämlichen Auges.

Nach einer ersten Bestimmung ist	$n = 1{,}3876$
„ „ zweiten „ „	$n = 1{,}4000$.
Im Mittel ist	$n = 1{,}3938$.

*) Diese Formel kann nur unter den oben erwähnten Umständen in so weit als richtig gelten, dass der aus mehreren Messungen abgeleitete Werth bis in die dritte Decimale zuverlässig ist. Wird ein dickeres Glastäfelchen genommen oder vollends ein grösseres Object, dann machen sich mehrfache Correctionen nöthig, wodurch die Berechnung weitläufig und das Resultat ein unsicheres wird.

Flüssigkeit zwischen den Kernfasern der nämlichen Linse.

Nach einer ersten Bestimmung ist $n = 1,3956$
" " zweiten " " $n = 1,4064$.
Im Mittel ist $n = 1,4010$.

Flüssigkeit zwischen den Fasern der Krystalllinse eines Frosches.

Nach einer ersten Bestimmung ist $n = 1,3782$
" " zweiten " " $n = 1,3851$
" " dritten " " $n = 1,3850$.
Im Mittel ist $n = 1,3827$.

Liquor Morgagni in der Linsenkapsel einer Steineule.

Nach einer ersten Bestimmung ist $n = 1,3507$
" " zweiten " " $n = 1,3500$.
Im Mittel ist $n = 1,3503$.

Die beiden letzteren Beispiele führe ich hier besonders aus dem Grunde an, um darzuthun, dass selbst eine sehr geringe Quantität einer Flüssigkeit ausreichen kann, um deren Brechungsindex zu bestimmen.

Ich gehe jetzt zur Betrachtung jener Mittel über, welche dem Beob- 338
achter zu Gebote stehen, wenn er bei mikroskopischen Untersuchungen die chemische Beschaffenheit der Körper kennen lernen will.

Im Voraus sei aber bemerkt, dass Mikrochemie und Makrochemie nicht so von einander verschieden sind, dass sich eine Grenze zwischen beiden ziehen liesse; dies ist hier so wenig möglich, wie bei der sogenannten gröbern und feinern Anatomie. Es handelt sich hier um eine und die nämliche Wissenschaft, welche nur dann als Mikrochemie bezeichnet wird, wenn das bewaffnete Auge erforderlich ist, um die Objecte oder die eintretenden Veränderungen zu erkennen.

Die mikrochemische Untersuchung beschränkt sich ferner auch nicht auf solche Körper, deren Menge zu gering ist, als dass eine gewöhnliche chemische Untersuchung möglich wäre; in vielen Fällen ist sie nur eine Fortsetzung und oftmals auch nur die nothwendige Einleitung einer makrochemischen Untersuchung. Nicht selten kann sie auch die letztere sehr abkürzen, weil die blos durchs Mikroskop erkennbaren Bestandtheile oftmals mit einem Blicke an ihrer eigenthümlichen Form, Farbe oder anderen Besonderheiten zu erkennen sind, während ihre Anwesenheit ausserdem nur etwa auf einem viel grössern Umwege zu entdecken wäre.

Endlich ist die Benutzung des Mikroskops bei chemischen Untersuchungen, namentlich organischer Körper, auch darum noch von Wichtigkeit, weil über die Homogeneität einer Substanz nur auf diesem Wege ein Urtheil möglich ist. Viele Untersuchungen ausgezeichneter Chemiker blieben ganz werthlos für die Wissenschaft, weil diese vorläufige Untersuchung verabsäumt und angenommen wurde, die Untersuchung betreffe

einen einzelnen homogenen Stoff, obwohl ein einziger Blick durchs Mikroskop sie darüber belehrt haben würde, dass der untersuchte Körper ein Gemenge mehrerer morphologisch verschiedener und in wechselnder relativer Menge vorhandener Bestandtheile war.

Die Benutzung des Mikroskops in der Chemie wird ohne Zweifel mit der Zeit immer mehr sich steigern, da voraussichtlich die Menge der mikrochemischen Erkennungsmittel allmälig zunehmen wird und schon gegenwärtig dieses Instrument bei der Untersuchung anorganischer wie organischer Körper mit grossem Nutzen in Anwendung kommt. Um indessen nicht zu ausführlich zu werden, werde ich mich im Folgenden auf einige der wichtigeren Stoffe beschränken, welche zu den am meisten verbreiteten Bestandtheilen des thierischen oder pflanzlichen Organismus zählen.

339 Man bedarf nur weniger Instrumente bei den eigentlichen mikrochemischen Untersuchungen. Die vielerlei Arten von Gefässen, welche bei Untersuchungen im Grossen vorkommen, werden hier fast alle durch die gläsernen Objecttäfelchen ersetzt; denn in den meisten Fällen ist es nur ein einzelner Tropfen, den man der Untersuchung unterwirft. Manchmal kann es aber nöthig werden, eine etwas grössere Menge einer Flüssigkeit anzuwenden, oder man muss auch wohl das Object eine Zeit lang mit einer Flüssigkeit digeriren lassen: in solchen Fällen sind kleine Uhrgläser mit gerade geschliffenen Rändern oder auch kleine nach dem im §. 297 angegebenen Verfahren verfertigte Glaströge sehr brauchbar. Um das Verdunsten der Flüssigkeit und das Hineinfallen von Staub dabei zu verhüten, werden sie mit einem Glastäfelchen von passender Grösse bedeckt.

Die gebräuchlichsten Reagentien werden am besten in Spritzfläschchen aufbewahrt, wovon die gebräuchlichsten Arten im §. 300 aufgezählt worden sind. Uebrigens können auch Glasstäbchen oder feine vor dem Löthrohre ausgezogene Röhrchen zum Aufnehmen von Flüssigkeiten benutzt werden.

340 Die wichtigeren Reagentien, welche bei mikrochemischen Untersuchungen in Betracht kommen können, sind folgende: Jodtinctur; eine Auflösung von Jod in Jodkalium; eine Verbindung der Solution von Jod und Jodkalium mit Chlorzink; Salpetersäure, Salzsäure und Schwefelsäure von verschiedener Stärke; Essigsäure; Weinsteinsäure; Kieselfluorwasserstoffsäure; Ammoniak; Solutionen von Aetzkali, von kohlensaurem Kali, von phosphorsaurem Ammoniak, von oxalsaurem Ammoniak, von saurem oxalsauren Kali, von phosphorsaurem Natron, von Chlorbaryum, von Chlorcalcium, von antimonsaurem Kali, von essigsaurem Eisenoxyd, von essigsaurem Blei, von salpetersaurem Silber, von Kupferoxydammoniak; eine alkoholische Solution von Chlorplatin; ausserdem

destillirtes Wasser, Alkohol, Schwefeläther, blaues Lackmuspapier und durch Säure rothgefärbtes Lackmuspapier.

In der Regel wird das Reagens einfach zugefügt, indem man einen 341
Tropfen davon mit der Flüssigkeit auf dem Objecttäfelchen in Berührung bringt. Sollen die beiden Flüssigkeiten gemischt werden, so bedient man sich hierzu eines Glasstäbchens. Muss ein organisches Gewebe ausgebreitet oder auseinander gezerrt werden, während es sich in einer Säure oder einer alkalischen Flüssigkeit befindet, so ist es am besten, man ersetzt die Stahlnadeln, welche gewöhnlich dazu verwendet werden, durch Platinanadeln.

Oftmals kommt es darauf an, dass man das Reagens nur langsam einwirken lässt, damit man Gelegenheit hat, die dadurch bewirkten Veränderungen in den verschiedenen Stadien zu beobachten. In einem solchen Falle legt man ein Deckplättchen auf das Object und daneben bringt man einen Tropfen jener Flüssigkeit, deren Wirkung man kennen zu lernen wünscht, so dass die letztere nur capillär angezogen wird und sich langsam mit der das Object umgebenden Flüssigkeit vermischt. Ein solches Verfahren ist vorzugsweise passend, wenn der Zusatz des Reagens, wie es beim Einwirken von Essigsäure auf thierische Gewebe der Fall ist, hauptsächlich dazu dienen soll, darüber Aufklärung zu erhalten, welche Bestandtheile dadurch verschwinden oder zum Vorschein kommen. Entsteht beim Vermischen der beiden Flüssigkeiten ein Präcipitat, so ist dieses Verfahren unstatthaft, weil an der Grenze der Berührung ein Rand entsteht, durch welchen die weitere Mischung verhindert wird.

Um in einem solchen Falle eine langsame aber stetige Vermischung herbeizuführen, kann man unter das Deckplättchen einen feinen baumwollenen oder leinenen Faden bringen, dessen eines Ende daraus hervorragt. Betupft man nun dieses hervorragende Ende mit einem Tropfen der Prüfungsflüssigkeit, so dringt diese allmälig an dem Faden unter das Deckplättchen und vermischt sich dort mit der Flüssigkeit.

Besser noch, wenn auch etwas umständlicher, ist das in Fig. 154

Fig. 154.



Capillare Einwirkung von Reagentien.

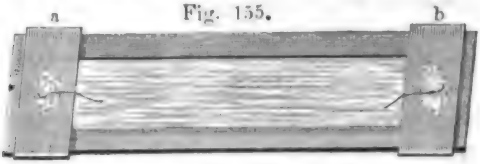
dargestellte Verfahren. *AB* ist ein gewöhnliches Objecttäfelchen, und auf dieses kommt ein kleineres Glastäfelchen *abcd*. Auf dem Objecttäfelchen befindet sich das Object *e* oder die zu untersuchende Flüssigkeit, auf dem Glastäfelchen liegt ein Tropfen *f* des Reagens, welches in An-

wendung kommen soll. Ist dieses, wie es meistens der Fall zu sein pflegt, eine wässerige Solution, so fasst man nun einen mit Wasser angefeuchteten baumwollenen Faden mittelst einer kleinen Pincette und bringt das eine Ende in den obern, das andere Ende in den untern Tropfen, so dass die obere Flüssigkeit langsam hinüberfliesst. Damit aber die Flüssigkeit nicht zwischen den beiden Glasplatten aufgesaugt wird, muss die untere Fläche und es müssen die Ränder des oberen Gläschens mit Fett oder mit Wachs bestrichen werden.

Diese kleine Vorrichtung kann auch zugleich dazu dienen, Flüssigkeiten, die nur in sehr geringer Quantität zu Gebote stehen, von grösseren darin befindlichen Körperchen durch Filtriren zu befreien. Die zu filtrirende Flüssigkeit kommt nämlich auf das obere Gläschen, und an dem nass gemachten Faden begiebt sich der klare Theil derselben auf das untere Gläschen. Dieses Ueberfliessen erfolgt natürlich um desto rascher, je dicker das obere Gläschen ist.

Ich habe noch ein Verfahren zu erwähnen, wodurch eine langsame Vermischung der Flüssigkeiten erzielt und also auch nur eine langsame Präcipitation herbeigeführt wird, so dass sich grössere Krystalle bilden können, deren Gestalt sich mit grösserer Sicherheit bestimmen und erkennen lässt, als bei kleinen Krystallen. Sie ist am leichtesten in Anwendung zu ziehen, wenn die zu untersuchende Substanz fest ist, in Wasser aber sich vollständig oder theilweise löst. Die hierzu nöthige Vorrichtung ist in Fig. 155 dargestellt. In einen wagerecht stehenden länglichen Glastrog, der 8 bis 10 Centimeter Länge auf etwa 2 Centimeter Breite hat und auf die früher (§. 297) beschriebene Weise hergerichtet wird, bringt man Wasser, so dass es 1 bis 2 Millimeter hoch steht.

Fig. 155.



Einrichtung zur langsamen Vermischung von Flüssigkeiten.

Den zu untersuchenden Körper, z. B. die Asche eines organischen Gewebes, bringt man dann an dem einen Ende des Trogs ins Wasser, wobei man möglichst Bewegungen vermeidet; das Reagens aber kommt in die entgegengesetzte am weitesten entfernte Partie des kleinen Trogs. Kann man dieses Reagens, was namentlich bei den meisten Salzen möglich ist, im festen Zustande anwenden, so ist dies vorzuziehen; ist es aber eine Flüssigkeit, so legt man an dem einen Ende des kleinen Trogs ein Glastäfelchen *a* auf und bewirkt die Ueberleitung der Flüssigkeit auf die bereits angegebene Art mittelst eines angefeuchteten Fadens. In gleicher Weise benutzt man am andern Ende ein solches Täfelchen *b*, wenn die zu untersuchende Substanz sich in gelöstem Zustande befindet. Die beiderlei Substanzen treffen dann erst nach einiger Zeit in der Mitte des kleinen Trogs auf einander und veranlassen dort ein Präcipitat. Eine unerlässliche Forderung hierbei ist es, dass sich die

Flüssigkeit in vollkommener Ruhe befindet, bis das Präcipitat sich ganz abgesetzt hat; die geringste Bewegung stört den Gang der Krystallisation, und statt einiger wenigen aber grossen und regelmässigen Krystalle bekommt man viele kleine, die dabei oftmals unregelmässig gestaltet sind.

Gar nicht selten tritt der Fall ein, dass man das eine oder das an- 342
dere zugesetzte Reagens wiederum fortzuschaffen wünscht, indem man den betreffenden Körper mit Wasser auswäscht. Ohne den letztern vom Glastäfelchen zu entfernen, wodurch er oftmals zu sehr beschädigt werden könnte, gelingt dies am besten auf die Weise, dass man das Objecttäfelchen, worauf er sich unter einem Deckplättchen befindet, in eine etwas geneigte Stellung bringt und dann mittelst eines Spritzfläschchens auf den nach oben gekehrten Rand des Deckplättchens tropfenweise Wasser fallen lässt; dieses dringt unter das Deckplättchen, reisst die Flüssigkeit mit fort, lässt aber das Object zurück. Mit einiger Uebung lernt man bald den erforderlichen Neigungsgrad und die Raschheit des Durchströmens kennen. Die Sache kann dadurch erschwert werden, dass, wenn das Object sehr dünn ist, der Raum zwischen dem Deckplättchen und der Objecttafel zu unbedeutend ist, als dass das Wasser dazwischen dringen könnte und deshalb über die Ränder des Deckplättchens oder auch über dieses selbst abfliesst. In einem solchen Falle braucht man nur das Deckplättchen etwas zu heben und einen dünnen Körper darunter zu bringen, ein Haar, ein Stückchen Glimmer oder dergleichen, worauf man dann die Ausspülung auf die angegebene Weise fortsetzt.

Fängt man das abgelaufene Wasser in einem Uhrgläschen auf, so kann man dasselbe mit den nöthigen Reagentien untersuchen, um sich davon zu überzeugen, ob der Zweck des Auswaschens erreicht ist, gleichwie man auch bei gröberen chemischen Untersuchungen das Auswaschwasser, welches durch das Filtrum abläuft, von Zeit zu Zeit auf dessen Gehalt an der auszuwaschenden Substanz prüft.

Der Mittel, um auf mikroskopische Objecte während der Beobach- 343
tung eine höhere Temperatur einwirken zu lassen, ist schon im §. 335 gedacht worden. Hier füge ich nur noch hinzu, dass das Abdampfen von Flüssigkeiten, wo es darum zu thun ist, aus der Form der auf den Objecttäfelchen zurückbleibenden Theile über die Natur der in der Solution befindlich gewesenen Substanzen ein Urtheil zu gewinnen, fast immer am besten bei gewöhnlicher Temperatur vorgenommen wird, oder doch wenigstens bei einer sehr mässigen Temperatur, weil die Krystallisation um so regelmässiger erfolgt, je langsamer die Verdunstung vor sich geht. In der Regel darf man aber nicht warten, bis die Verdunstung vollständig eingetreten ist, weil die Krystallisation gegen das Ende hin meistens sehr verwirrt auftritt; der geeignetste Moment, einen verdunstenden Tropfen unters Mikroskop zu bringen, ist der, wenn die Krystallbildung an den

Rändern bereits begonnen hat, in der Mitte aber noch Flüssigkeit sich befindet.

344 Die krystallographische Untersuchung ist ein höchst wichtiger Theil der Mikrochemie und es kann nicht genug empfohlen werden, dass man sich darin eine genugsame Fertigkeit aneignet. Der geübte Beobachter, der sich die Krystallformen der am häufigsten in organischen Geweben und Flüssigkeiten vorkommenden Körper gut ins Gedächtniss eingeprägt hat, ist in den Stand gesetzt, in vielen Fällen mit einem einzigen Blicke durchs Mikroskop die chemische Natur mancher darin vorkommenden Bestandtheile zu erkennen. Ja nicht selten ist eine solche krystallographische Untersuchung sogar das einzige Mittel, welches zu ihrer Entdeckung führt, weil durch die übrigen in dem Gewebe oder in der Flüssigkeit enthaltenen Bestandtheile die kleinen Krystalle oftmals dermaassen eingehüllt werden, dass an ein Isoliren durch mechanische Mittel nicht zu denken ist.

Ist nun aber auch manchmal ein einziger Blick hinreichend, die Krystallform kennen zu lernen, so verhält sich die Sache doch nicht immer auf diese Weise. Die Grundform, welche ein Körper beim Krystallisiren annimmt, kann bekanntlich zahllose Modificationen erfahren; diese gehorchen indessen bestimmten Gesetzen, deren Kenntniss ich beim Leser voraussetzen muss. Es ist auch bekannt, dass man durchs Ausmessen einiger Winkel eines Krystalls dessen eigentliche Grundform bestimmen kann, und deshalb ist es von Wichtigkeit, dass man die Mittel und die Wege kennt, wie sich solche Winkelmessungen an mikroskopischen Krystallen mit ausreichender Genauigkeit ausführen lassen, um weiterhin daraus die Grundform und das wahre Verhältniss der Krystallaxen abzuleiten.

Hierzu dienen die verschiedenen Mikrogoniometer, deren genauere Beschreibung im letzten Buche vorkommt. Hier will ich nur bemerken, dass die bis jetzt bekannten in zwei Klassen zerfallen: a. solche, wo die Winkelmessung durch das Umdrehen eines Oculars bewirkt wird, woran sich ein Fadenkreuz und ein in Grade getheilter Kreis befindet; b. solche, wo die Kreistheilung auf den Objecttisch aufgetragen ist und dieser sich um eine Axe drehen kann, die mit der Axe des optischen Apparats zusammenfällt, wobei aber das Ocular ebenfalls ein Fadenkreuz hat. Bei beiderlei Einrichtung kommt die Spitze des zu messenden Winkels in den Kreuzungspunkt der Fäden des Oculars, so dass der eine Schenkel mit einem der beiden Fäden coincidirt. Dann wird entweder das Ocular oder der Objecttisch herumgedreht, bis der andere Schenkel mit dem nämlichen Faden coincidirt, und jetzt liest man die Grösse des Winkels auf dem getheilten Kreise ab. Hierbei wird vorausgesetzt, dass die Spitze des Winkels gerade in der Axe des Instruments liegt und während der Umdrehung in dieser Axe verbleibt, wie es auch der Fall ist bei guten Instrumenten. Sonst muss man zwei Messungen des nämlichen Winkels

an entgegengesetzten Punkten des Kreises vornehmen, und das Mittel aus diesen beiden Messungen giebt dann die wahre Grösse des Winkels.

Ausser den eigentlichen Mikrogoniometern giebt es noch andere Hülfsmittel, mittelst deren man die Winkel mikroskopischer Krystalle messen kann, allerdings nicht ganz so genau, wie mit einem Goniometer, aber doch mit hinlänglicher Genauigkeit, wenn es sich blos darum handelt, Krystalle, die einige Formähnlichkeit besitzen, sicher von einander zu unterscheiden.

Man kann nämlich mittelst einer der früher (§. 179) beschriebenen Vorkehrungen, der Camera lucida, des Sömmerring'schen Spiegelchens u. s. w., das Bild eines Krystalls auf ein Papier oder auf eine Schiefertafel projiciren, und nun mit drei Punkten, wovon der eine im Winkelpunkte liegt, den auszumessenden Winkel darauf angeben. Man zieht hierauf mit einem Lineal die Schenkel des Winkels und kann dann dessen Grösse mit einem Gradbogen bestimmen.

Zu dem nämlichen Zwecke lässt sich auch das tragbare Sonnenmikroskop benutzen, dessen Beschreibung in einem spätern Abschnitte kommen wird.

Diese Methoden haben insofern selbst einen Vorzug vor den eigentlichen Mikrogoniometern, als man damit auch die Neigung zweier Flächen zu messen im Stande ist, die nicht unmittelbar an einander stossen, z. B. (Fig. 156) der Flächen *a* und *b*. Man kann nämlich die Seiten auf dem Papiere verlängern, bis sie in einem Punkte *o* zusammentreffen, worauf man dann die Grösse dieses Winkels auf die angegebene Weise bestimmt.

In Betreff der zu messenden Winkel muss man im Auge behalten, 345
dass es, wenn man die wechselseitige Neigung der Flächen eines Krystalls finden will, eigentlich darauf ankommt, den Neigungswinkel der Flächen zu messen. Die Grösse dieses Neigungswinkels lässt sich auf die angegebene Weise nur dann bestimmen, wenn die Ebene, worin der Neigungswinkel gelegen ist, auf der optischen Axe des Mikroskops senkrecht steht. Man will z. B. die Winkel des in Fig. 157 dargestellten

Fig. 156.

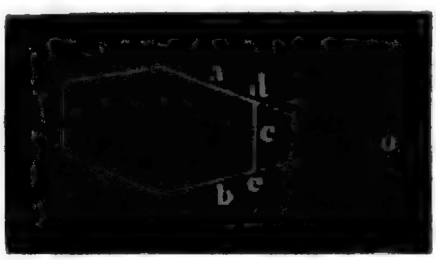
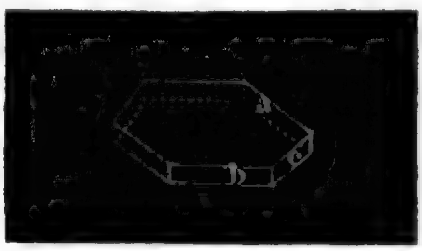


Fig. 157.



Zu messende Krystalle.

sechsseitigen Prismas kennen lernen. Die Winkel, welche die Flächen *a*, *c*, *b* mit einander bilden, lassen sich durchaus nicht messen, so lange der Krystall sich in dieser Lage befindet, d. h. so lange ein Theil dieser Flächen selbst sichtbar ist, weil man so den ganzen Krystall in einer schiefen Lage sieht. Sobald sich hingegen der Krystall so wie in Fig.

156 darstellt, wo die Flächen, deren Neigung man kennen zu lernen wünscht, der optischen Axe parallel sind, also nur als Linien wahrgenommen werden, kann man die Neigung der Fläche *a* gegen die Fläche *c* und dieser gegen die Fläche *b* finden, indem man die Winkel *d* und *e* misst.

Bevor man also zur Messung schreitet, muss man gewiss sein, dass der zu messende Neigungswinkel die geforderte Stellung hat. In vielen Fällen kommt hier die allgemeine Eigenschaft zu Hülfe, dass bei einem regelmässig gestalteten Krystalle jeder Fläche eine gegenüberliegende Fläche entspricht, welche der erstern parallel ist. Liegt nun der Krystall mit einer dieser Flächen auf der Objecttafel, so ist die andere, welche dem Auge des Beobachters zugekehrt ist, damit parallel, d. h. sie liegt senkrecht zur optischen Axe des Instruments. Man erkennt dies daran, dass alle Punkte dieser Fläche sich gleichzeitig deutlich darstellen, ohne dass man die Entfernung zwischen dem Objecte und dem Objective zu ändern braucht.

In der Regel sind so viele Krystalle da, dass man nach Willkür die Messung nur an solchen vorzunehmen braucht, die ziemlich regelmässig gestaltet sind und eine passende Lage haben. Ausserdem kann man durch einen Druck des Deckgläschens, durch Erregen einer Strömung u. s. w. Veränderungen der Lage herbeiführen, so dass man im Stande ist, die Winkelmessungen in verschiedener Richtung vorzunehmen.

Hat man einzelne Krystalle von ziemlicher Grösse, so kann man einen davon mit etwas Fett oder Wachs auf ein Objecttäfelchen kleben und dann die Winkelmessung ganz gut bei auffallendem Lichte ausführen.

Indessen ist es nicht allemal möglich, durch directe Messung den Stellungs- oder Neigungswinkel der Flächen zu bestimmen; es kann dies nur dann geschehen, wenn die dem Auge zugekehrte Fläche senkrecht auf jenen Flächen steht, deren Neigung gemessen werden soll. In dem Rhomboeder (Fig. 158) ist dies nicht der Fall. Alsdann muss aus dem gemessenen Winkel *poq* der Neigungswinkel der Flächen *a* und *b* durch Berechnung gefunden werden. Dies sowohl als die Berechnung des wechselseitigen Verhältnisses der Axen erfolgt nach trigonometrischen Regeln *).

Fig. 158.



Rhomboëder.

*) In den krystallographischen Schriften wird hierüber ausführlich gehandelt. Nur um die mikrogoniometrische Methode durch ein Paar Beispiele zu erläutern, entlehne ich Folgendes aus der vortrefflichen kleinen Schrift von Carl Schmidt: Entwurf einer allgem. Untersuchungsmethode der Säfte u. Excrete des thier. Org. Mitau u. Leipzig 1846. S. 23.

„Ist die Form ein rhombisches Prisma mit gerade angesetzter Endfläche (Fig. 159), so gelingt es bald, den Krystall auf die letztere oP zu legen und die Neigung der Flächen $u' : u$, d. h. den Winkel des Prisma der Grundform ∞P

Da die Kenntniss der Krystallformen bei den mikrochemischen Untersuchungen so ungemein wichtig ist, so gebe ich in den folgenden Blättern die Beschreibung und Abbildung der Krystalle von einer Anzahl von Körpern, die als solche in thierischen oder pflanzlichen Organismen vorkommen, oder auch wohl durch chemische Einwirkung entstehen. Daneben habe ich auch für einzelne Fälle die Abbildung der nämlichen Substanz im amorphen Zustande beigefügt. Wer sich indessen auf solche 346

zu messen, woraus sich das Verhältniss der makro- und brachydiagonalen Axe:

$$b : c = 1 : tang\ {}^1/_2\ \gamma$$

oder $$c = tang\ {}^1/_2\ \gamma$$

ergiebt, wo γ den spitzen Winkel der Basis $o\,P$, d. h. Flächenneigungswinkel des Prisma ∞P bezeichnet.

In gleicher Weise geschieht die Messung beim Hinzutreten des makro- und brachydiagonalen Flächenpaares *m* und *n* (Fig. 160), wodurch ein verticales Prisma mit achteckiger Basis gebildet wird.

Fig. 159.

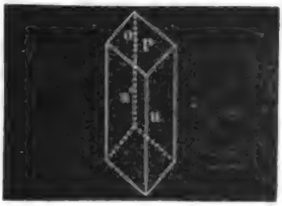


Fig. 160.

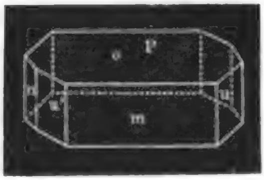


Fig. 161

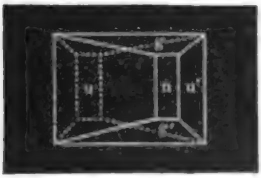


Fig. 162.



Fig. 163.

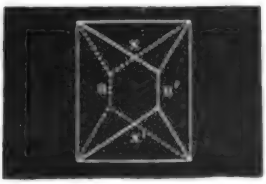


Fig. 164.

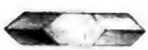


Fig. 165.



Fig. 166



Verschiedene zu messende Krystalle.

Bei allen vertikalen Prismen mit der geraden oder schiefen Endfläche $o\,P$ ist die Bestimmung des vollständigen Axenverhältnisses unmöglich, die Hauptaxe *a* hat ja jede beliebige Länge. Sie wird erst durch Zutritt horizontaler Prismen oder Pyramiden bestimmt, die indess selten ganz fehlen.

Haben wir nun eine Combination der letzterwähnten Form $\infty P . \infty \bar{P} \infty . \infty \breve{P} \infty . o\,P$ (Fig. 160) mit einem Horizontalprisma, z. B. dem brachydiagonalen

Untersuchungen einlassen will, der lasse sich empfohlen sein, sich vorher erst mit den Erscheinungen bekannt zu machen, welche beim Uebergange der Körper aus dem flüssigen Zustande in den festen stattfinden, namentlich wie sie bei der Bildung von Präcipitaten auftreten, da diese vom Momente ihres Entstehens an eine Reihe von Veränderungen und Gestaltumwandlungen erleiden, die man kennen muss, wenn man nicht irre geführt werden will.

$\breve{P}\infty$ in Fig 161, g (man denke sich in der Figur die Kanten des Prisma ∞P rechts und links durch das makrodiagonale Flächenpaar m gerade abgestumpft, wie es die Kanten vorn und hinten durch n sind), so suchen wir den Krystall auf die Fläche m zu wälzen, wo er dann wie in Fig. 162 (Harnsäurekrystall) erscheint. Der Winkel oben und unten ist der Neigungswinkel der Flächen $g:g'$ des brachydiagonalen Horizontalprisma, dessen Messung durch sehr einfache Berechnung das Verhältniss der Hauptaxe a zur Makrodiagonale b ergiebt. Für $b = 1$ ist $a = cotg\ {}^1/_2\ \beta$, wenn der gemessene Winkel des Horizontalprisma $= \beta$.

Ist gleichzeitig das makrodiagonale Horizontalprisma $\bar{P}\infty$ vorhanden, so bildet die ganze Combination ein achteckiges verticales Prisma (Fig. 163) mit vierflächiger pyramidaler Endzuspitzung. Um den Neigungswinkel der Flächen $x:x'$ dieses Prisma zu messen, verfährt man, wie beim brachydiagonalen eben erwähnt, mit dem einzigen Unterschiede, dass der Krystall, statt aufs makrodiagonale m vielmehr aufs brachydiagonale n (Fig. 160 und 161) gewälzt wird. Man erhält dadurch das Verhältniss:

$$a = c\ .\ cotg\ {}^1/_2\ \gamma \text{ oder}$$
$$c = a\ .\ tang\ {}^1/_2\ \gamma.$$

Es ist aber $a = cotg\ {}^1/_2\ \beta$ oben gefunden, mithin ist

$$c = cotg\ {}^1/_2\ \beta\ .\ tang\ {}^1/_2\ \gamma$$

und das vollständige Axenverhältniss

$$= a : b : c = cotg\ {}^1/_2\ \beta : 1 : cotg\ {}^1/_2\ \beta\ .\ tang\ {}^1/_2\ \gamma,$$

wo γ den Neigungswinkel der Flächen $x : x'$ des makrodiagonalen Horizontalprisma bedeutet.

Gehört endlich der Krystall dem monoklinischen Systeme an, so findet sich meist das Prisma der Grundform ∞P mit dem klinodiagonalen Flächenpaar $(\infty P \infty)$ und der schiefen Endfläche $o P$ (Fig. 164 Krystall von oxalsaurem Harnstoffe und Fig. 165 Krystall von schwefelsaurem Kalke). Man giebt in diesem Falle erst die Lage, wie Fig. 164, d. h. auf der schiefen Endfläche, um den Flächenwinkel der letztern $= \gamma$ zu messen, und wälzt ihn dann aufs klinodiagonale Flächenpaar (Fig. 165), um den Neigungswinkel der schiefen Axen a zu messen. Der Neigungswinkel des Prisma der Grundform γ' ergiebt sich nun aus der einfachen Relation zwischen den gegebenen Stücken $\angle\ \gamma$ und $\angle\ a$:

$$cotg\ {}^1/_2\ \gamma' = cotg\ {}^1/_2\ \gamma\ .\ sin\ a.$$

Dieselbe Relation findet sich natürlich zwischen jedem geneigten Flächenpaar, es mag nun die schiefe Endfläche oder ein orthodiagonales Hemiprisma $\pm P\infty$ irgend welcher Art sein. Nennen wir hier die Klinodiagonale b, die Orthodiagonale c, so wird auch hier nur das Verhältniss dieser beiden Axen direct bestimmt, und zwar für $b = 1$:

$$b : c = 1 : tang\ {}^1/_2\ \gamma,$$

oder in dem Grundprisma ∞P für $b' = 1$ (wo b' die Axe des Prisma im klinodiagonalen Hauptschnitt bedeutet, c die Orthodiagonale bleibt):

$$b' : c = 1 : tang\ {}^1/_2\ \gamma' = 1 : \frac{tang\ {}^1/_2\ \gamma}{sin\ a}.$$

Ist ausser der schiefen Endfläche noch ein Flächenpaar, z. B. $-P\infty$, ein orthodiagonales horizontales Hemiprisma gegeben (Fig. 166, Krystall von oxalsau-

Im Allgemeinen zerfallen die Präcipitate in **amorphe** und **krystallinische**. Die amorphen unterscheidet man aber wieder in:

a. **moleculäre** oder solche, die nur aus sehr kleinen, nicht zusammenhängenden Molekeln bestehen, an denen Molekularbewegung zu beobachten ist;

b. **flockige**, die aus grösseren oder kleineren Gruppen zusammenhängender Molekeln bestehen, an denen aber keine Molekularbewegung zu beobachten ist;

c. **häutige**, die aus wahren Häuten mit Falten bestehen, oftmals ganz glasartig durchsichtig sind und bisweilen eine molekuläre Zusammensetzung haben.

Diese ursprünglichen Formen erleiden in vielen Fällen Veränderungen insofern, als die schon vorhandenen Molekeln sich zu grösseren rundlichen Körnern vereinigen, oder aber, wenn das Präcipitat durchscheinend häutig ist, so entstehen in demselben nun erst kleine Molekeln, während die frühere häutige Form allmälig ganz verloren geht.

---

rem Harnstoffe), dessen Neigung gegen die Kante des Verticalprisma $\infty P = \alpha'$ sei (d. h. der Winkel $\angle\ 90^\circ$), so wird die Axe a bestimmt und zwar:

$$a = \frac{\sin(\alpha + \alpha')}{\sin \alpha'}$$

und wir haben das vollständige Axenverhältniss:

$$a : b : c = \frac{\sin(\alpha + \alpha')}{\sin \alpha'} : 1 : \mathrm{tang}\ {}^1/_2\, \gamma.$$

Ist das gegebene Flächenpaar das jenem entsprechende positive Hemiprisma $+ P\infty$, dessen Neigungswinkel $\angle\ 90^\circ$ gegen die Kante des Verticalprisma ∞P gleich α'' sei, so wird das Axenverhältniss, da $a = \frac{\sin(\alpha - \alpha'')}{\sin \alpha''}$ ist,

$$a : b : c = \frac{\sin(\alpha - \alpha'')}{\sin \alpha''} : 1 : \mathrm{tang}\ {}^1/_2\, \gamma.$$

Zwischen den Neigungswinkeln α'' und α' der positiven und negativen orthodiagonalen horizontalen Hemipyramide $\pm P\infty$ und der Kante des Verticalprisma ∞P besteht mithin die Relation:

$$\frac{\sin(\alpha - \alpha'')}{\sin \alpha''} = \frac{\sin(\alpha + \alpha')}{\sin \alpha'}$$

$$\text{oder} \quad \mathrm{cotg}\ \alpha'' = \mathrm{cotg}\ \alpha' + 2\ \mathrm{cotg}\ \alpha.$$

Im hexagonalen Systeme haben wir es nur mit der hemiëdrischen Seite desselben, dem Rhomboeder, zu thun. Das Rhomboeder ist eine besondere Form des Hendyoeders (rhombischen Prisma mit schiefer auf die Kanten gerade aufgesetzter Endfläche, Fig. 159), nämlich ein solches, in dem die Neigung der Endfläche $o P$ gegen die Flächen des Verticalprisma ∞P (Fig. 159) $o P : u'$ und $o P : u$ gleich sind der Flächenneigung des letztern selbst $u : u'$, wo also $o P : u' = o P : u = u : u'$. Bezeichnen wir diesen Neigungswinkel mit ϱ, die ebenen drei gleichen Flächenwinkel, die das Eck $o P, u', u$ bilden, mit φ, so finden zwischen diesen folgende Relationen statt:

$$1.\ \cos {}^1/_2\, \varphi = \frac{\cos {}^1/_2\, \varrho}{\sin \varrho} \quad \text{und} \quad 2.\ \sin {}^1/_2\, \varrho = \frac{\sin {}^1/_2\, \varphi}{\sin \varphi},$$

mittelst derer man aus einem gegebenen den andern leicht berechnet.

Wir messen bei mikroskopischen Krystallen immer am leichtesten den obern Winkel φ und berechnen daraus den körperlichen ϱ."

Auch bei den krystallinischen Präcipitaten, obwohl die Krystalle selbst eine primäre Bildung sind, treten manchmal Uebergänge ein, aus denen man leicht auf das Gegentheil schliessen könnte und die auch wirklich von Manchen als Beweise dafür benutzt worden sind, dass die Krystalle aus amorphen Körperchen heraus oder durch Aneinanderfügung solcher sich entwickeln.

Sehr häufig sieht man nämlich ein amorphes Präcipitat einem krystallinischen vorausgehen. Die genauere Untersuchung lehrt aber, dass in allen solchen Fällen das amorphe Präcipitat erst wieder hier und da in der Flüssigkeit sich löst, und dass nun anderwärts, an hellen Stellen der Flüssigkeit, die Krystallkerne zum Vorschein kommen, die sich allmälig vergrössern durch unmittelbaren Ansatz krystallisirbarer Substanz aus der Flüssigkeit. Somit hat das frühere amorphe Präcipitat eine Veränderung erfahren, die wahrscheinlich meistens in einem Gebundenwerden des Krystallwassers besteht, bevor dasselbe wiederum als krystallinisches Präcipitat zum Vorschein kommt.

Ausserdem gehört es aber auch zu den Eigenthümlichkeiten der mikroskopischen Krystalle, dass ihre Flächen und Seiten sehr häufig Biegungen machen, so dass sie, bei nur einigermaassen unregelmässiger Gestaltung, wirklich amorphen Körnern gleichen können. Eine nähere Untersuchung zeigt aber bald, dass diese Uebereinstimmung nur eine scheinbare ist und lediglich auf Rechnung unserer unvollkommenen Beobachtungsmittel fällt.

Ich habe noch hinzuzufügen, dass die nämliche Substanz sich in sehr verschiedenen Formen präcipitiren kann, je nach den Umständen, unter denen die Präcipitation statt hat. So bildet der kohlensaure Kalk ein häutiges Präcipitat, wenn bei gewöhnlicher Temperatur eine concentrirte Lösung eines Kalksalzes mit einer ebenfalls concentrirten Lösung von kohlensaurem Kali oder Natron gemischt wird. Hingegen besteht das Präcipitat aus flockig zusammenhängenden Molekeln, sobald die Auflösungen verdünnt sind. Erfolgt die Mischung bei einer Temperatur über 34° C., dann ist das Präcipitat krystallinisch und besteht wohl grösstentheils aus Kalkspathrhomboedern. Ist endlich die Kohlensäure im Uebermaasse zugegen, wie in dem Falle, wo Kalksalzsolutionen mit doppelt kohlensaurem Kali oder Natron präcipitirt werden, dann besteht das Präcipitat zum Theil aus Arragonitkrystallen.

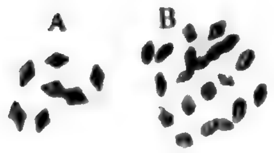
Aus dem Gesagten erhellt so viel, dass man bei mikroskopischen Untersuchungen, wenn aus der Form des Präcipitats über dessen chemische Beschaffenheit ein Urtheil gefällt werden soll, die Umstände im Auge behalten muss, unter denen sich dasselbe gebildet hat. Namentlich ist dies bei organisch-chemischen Untersuchungen nöthig, weil man es hier selten mit reinen Auflösungen zu thun hat, sondern fast jederzeit mit Gemengen verschiedener Substanzen, worunter leicht solche befindlich sind, die, wenn sie auch in gar keiner chemischen Beziehung zu der sich präcipitirenden Substanz stehen, doch oftmals auf deren Form von Ein-

fluss sind. Manche Präcipitate, die unter gewöhnlichen Umständen amorph auftreten, werden krystallinisch, wenn Gummi, Zucker oder thierischer Leim in jenen Solutionen vorkommt, aus deren Vermischung sie hervorgehen. Damit erklärt sich auch zugleich, dass häufig in thierischen und pflanzlichen Flüssigkeiten Krystalle von Substanzen angetroffen werden, die man durch chemische Einwirkungen entweder gar nicht oder unter einer andern Modification der Grundform erhält. Beweise hierfür werden im Nachfolgenden beigebracht werden.

Ich lasse jetzt eine Uebersicht jener Krystallformen folgen, welche 347
bei organisch-chemischen Untersuchungen am häufigsten auftreten, und werde die Beschreibung durch beigefügte Abbildungen *) erläutern. Indessen gebe ich nur die Hauptformen an, da die zahllosen Abänderungen, welche bei einer und der nämlichen Grundform durch Abstutzen der Winkel, der Kanten u. s. w. eintreten können, sich unmöglich alle darstellen liessen. Wer sich in mikrochemischen Untersuchungen einige Fertigkeit zu eigen machen will, dem kann es nicht genug angerathen werden, im Voraus eine Menge Krystalle solcher Substanzen, die er bereits kennt, durchs Mikroskop zur Anschauung zu bringen und die mancherlei Gestalten, unter denen sie auftreten können, dem Gedächtnisse einzuprägen.

1. **Jod** (Fig. 167). Dasselbe kommt zwar niemals im freien Zustande in thierischen oder pflanzlichen Geweben oder Flüssigkeiten vor; seine Krystalle müssen aber gleichwohl hier einen Platz finden, weil sie sich beim Vermischen der als Reagens häufig benutzten Jodtinctur mit Wasser bilden. Es sind kleine, fast undurchsichtige rhombische Tafeln, wie in *A* (Präcipitat von einer schwachen Jodtinctur), die aber auch manchmal eine elliptische Gestalt haben, wie in *B* (Präcipitat durch eine concentrirte Jodtinctur), wo sie dann mit den Sporidien mehrerer Schimmelsorten grosse Aehnlichkeit zeigen. Die Unterscheidung von letzteren fällt indessen vorkommenden Falls nicht schwer,

Fig. 167.



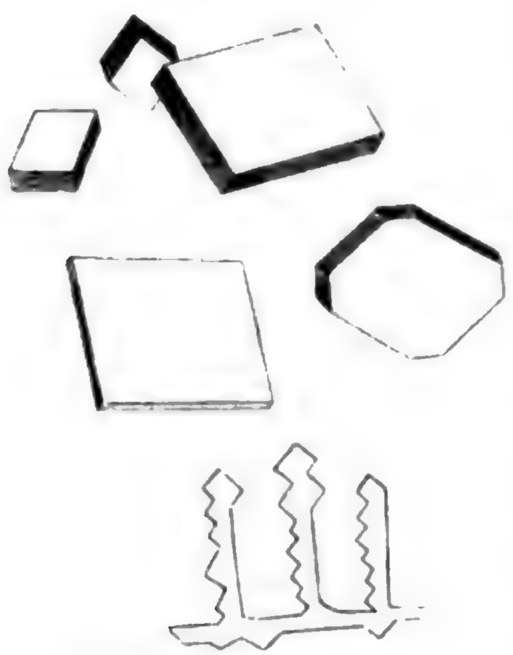
Jod.

*) Als das holländische Original (1848) veröffentlicht wurde, gab es noch keine nur einigermaassen vollständige Sammlung von solchen Krystallabbildungen. Diesem Mangel ist seitdem durch zwei Werke abgeholfen worden, nämlich: O. Funke, Atlas der physiologischen Chemie, Leipzig 1853, Ebend. 1858, u. Robin et Verdeil, *Traité de Chimie anatomique et physiologique etc. accompagné d'un Atlas de 45 planches gravées* 3 Vol. Par. 1853. Dahin muss ich den Leser verweisen, der mehr Krystallabbildungen nachsehen will; in beiden Werken, zumal aber im letztgenannten, sind sie durch schöne Ausführung ausgezeichnet. Einige krystallinische Substanzen werde ich aber mit aufführen, die in keinem der beiden Werke vorkommen.

da die Jodkrystalle einige Zeit nach erfolgter Präcipitation durch Verflüchtigung von selbst verschwinden.

2. Salpetersaures Natron oder Würfelsalpeter (Fig. 168) krystallisirt aus einer verdunstenden wässerigen Lösung in rhomboëdrischen Tafeln, die aber häufig unter einander verwachsen sind und dendritische Figuren darstellen, die einigermaassen denen des Salmiaks gleichen, noch mehr aber jenen des schwefelsauren Ammoniaks. Sie unterscheiden sich aber dadurch, dass die Krystallplättchen des letztgenannten Salzes ganz rechtwinkelig sind, während beim salpetersauren Natron Winkel von 77° und 103° vorhanden sind. Bedenklicher ist die Verwechselung mit salpetersaurem Harnstoffe, welche dann eintreten kann, wenn man den Harnstoff in thierischen Flüssigkeiten aufsucht, in denen er, wie es wohl beim Blute vorkommt, nur in sehr geringer Menge enthalten ist, wobei sich dann durch die Behandlung mit Salpetersäure aus den verschiedenen Natronsalzen des Blutes salpetersaures Natron gebildet haben kann. Die ansehnlichere Grösse des spitzen Winkels (82°) beim salpetersauren Harnstoffe, besonders aber die grössere Löslichkeit des salpetersauren Natrons in Wasser, lassen die beiden Verbindungen von einander unterscheiden. Auch krystallisirt das salpetersaure Natron nicht in solchen dünnblätterigen, schichtenweise auf einander liegenden sechseckigen Tafeln, in denen der salpetersaure Harnstoff vorzukommen pflegt, und andererseits hat der letztere nicht in gleich grossem Maasse die Neigung zu dendritischen Formen.

Fig. 168.



Salpetersaures Natron.

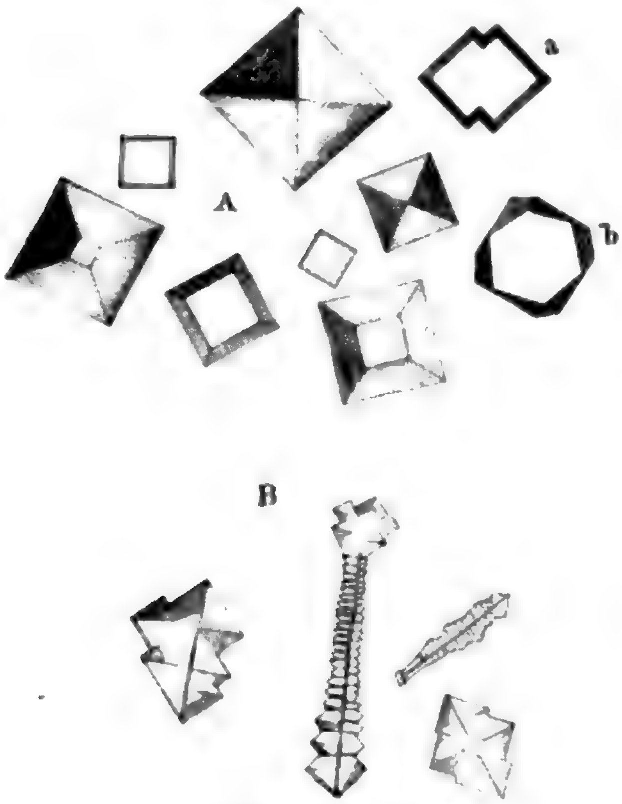
3. Chlornatrium (Fig. 169). Die häufigste Form, in welcher das Küchensalz aus schwachen Solutionen herauskrystallisirt, ist die in regelmässigen Octaëdern (*A*), deren Flächen immer gestreift sind. An vielen sind auf verschiedene Art die Winkel fehlend (*b*). Auch findet man wohl zuweilen Zwillingskrystalle (*a*).

Erfolgt die Verdunstung der Chlornatriumlösung sehr rasch, z. B. auf einer Objecttafel über der Weingeistflamme, dann bilden sich nur wenige regelmässige Octaëder, vielmehr sind in der Regel eine mehr oder weniger grosse Anzahl derselben zu unregelmässigen Figuren verwachsen (*B*), die manchmal auch dendritisch werden.

4. Chlorkalium (Fig. 170) lässt sich in der Krystallform nur schwierig vom Chlornatrium unterscheiden. Wenn indessen dieses Salz aus einer Solution auf einer Objecttafel herauskrystallisirt, so kommen

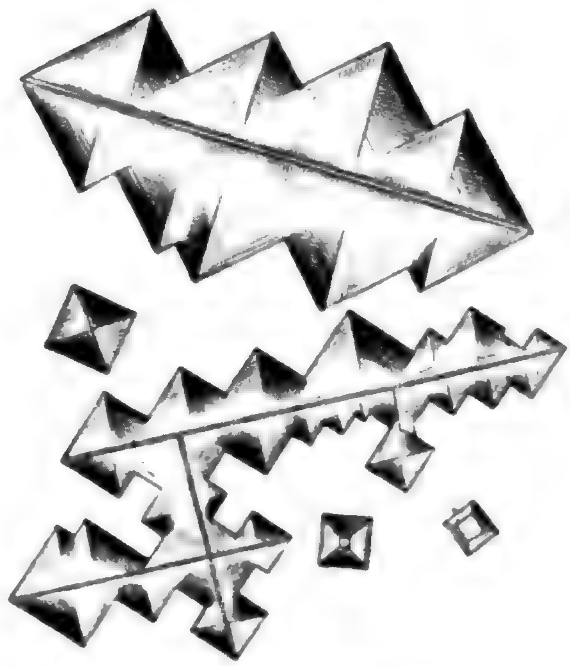
isolirte Octaëder nur selten vor, sondern es entstehen meistens grössere krystallinische Figuren durch Verwachsung einer Anzahl einzelner Krystalle, meistens in dendritischer Form. Ist man noch in Zweifel, so kann man diesen beseitigen, wenn man eine alkoholische Solution von Chlorplatin zusetzt. Dadurch entsteht, gleichwie mit allen Kalisalzen, ein amorphes Präcipitat. Ein solches kommt aber bei Natronsalzen nicht vor.

Fig. 169.



Chlornatrium

Fig. 170.

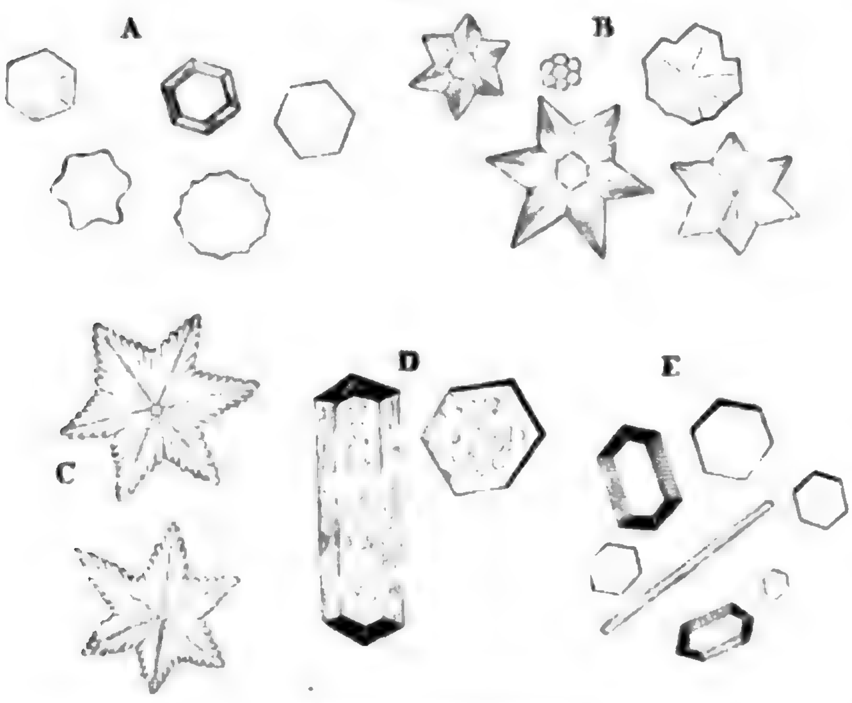


Chlorkalium.

Die mikrochemische Erkennung der beiden Klassen von Salzen erfolgt aber mit noch grösserer Bestimmtheit beim Zusatze von Kieselfluorwasserstoffsäure.

5. Fluorkieselnatrium (Fig. 171). Die eigenthümlich geformten, zum hexagonalen Systeme gehörigen Krystalle bilden sich, wenn einer Natronsalzsolution Kieselfluorwasserstoffsäure zugesetzt wird. Bei schneller Vermischung werden es

Fig. 171.

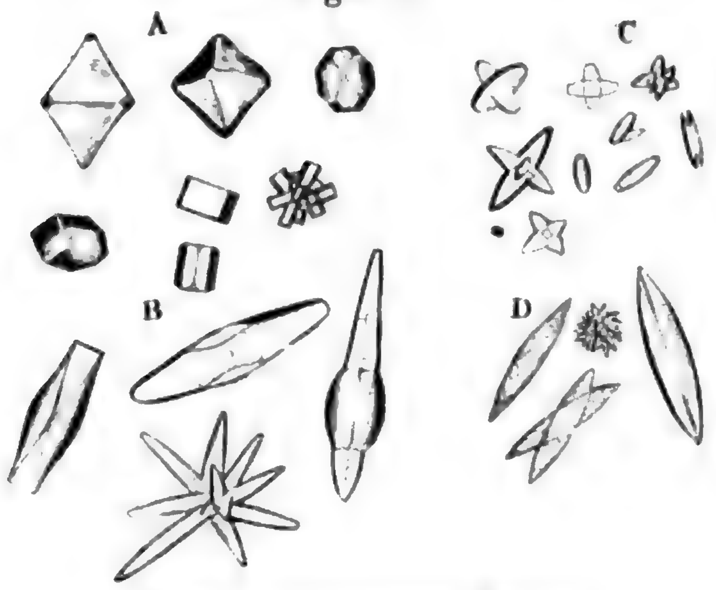


Fluorkieselnatrium.

sechseckige dünne Platten (*A*), die aber auch oftmals sternförmig sind (*B*) oder farrenblattförmige Strahlen besitzen (*C*). Erfolgt die Mischung der beiden Flüssigkeiten auf die früher angegebene Weise nur langsam, dann besteht das Präcipitat aus sechsseitigen ziemlich langen Prismen (*D*). Da dieses Salz in Wasser nicht ganz unlöslich ist, so entsteht kein Präcipitat, wenn Kieselfluorwasserstoffsäure sehr verdünnten Solutionen von Natronsalzen, wie es die meisten organischen Flüssigkeiten sind, zugesetzt wird. Lässt man aber die Mischung auf einer Objecttafel an der Luft langsam verdunsten, dann treten sehr regelmässig geformte Krystalle auf. Die unter *E* dargestellten stammen z. B. aus einem Chlornatrium enthaltenden Harne, dem Kieselfluorwasserstoffsäure zugesetzt wurde.

6. Bimeta-antimonsaures Natron (Fig. 172). Das Entstehen von Krystallen dieses Salzes, sobald einer Flüssigkeit eine Auflösung bimeta-antimonsauren Kalis zugesetzt wird, beweist auch die Gegenwart von Natron. Die ursprüngliche Krystallform ist das Quadratoctaëder. Dieses kann aber auf mannigfaltige Weise an den Kanten und Winkeln abgestutzt sein, oder es kann sich zu Prismen verlängert haben, die zwillings-, drillingsartig oder auf eine noch mehr zusammengesetzte Weise sich vereinigen können.

Fig. 172.



Bimeta-antimonsaures Natron.

Auch kommen noch Verschiedenheiten vor je nach der Qualität des benutzten Natronsalzes und nach dem Concentrationsgrade der Solution. So stammen die Krystalle der Gruppe *A* aus einer verdünnten Solution von schwefelsaurem Natron, jene der Gruppe *B* aus einer mehr concentrirten Solution des nämlichen Salzes, jene der Gruppe *C* aus einer Chlornatriumsolution, und endlich jene der Gruppe *D* aus einer Solution von kohlensaurem Natron.

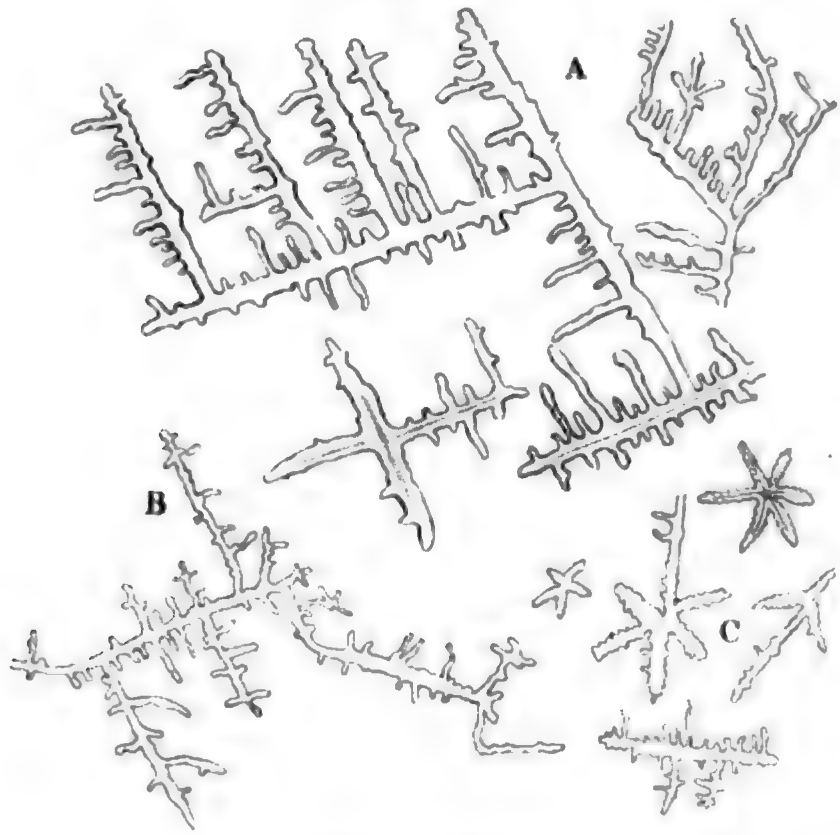
Bemerkt mag noch werden, dass diese Krystalle zu jenen gehören, welche bei durchfallendem Lichte am stärksten schattirt sind, und zwar wegen ihres starken Lichtbrechungsvermögens.

7. Chlorammonium (Fig. 173). Dieses so häufig in thierischen Flüssigkeiten vorkommende Salz erkennt man leicht an der eigenthümlichen federförmigen, oftmals kreuzförmigen Krystallverästelung, wenn es auf einer Objecttafel aus einer verdunstenden schwachen Solution anschiesst. Die Gruppe *A* stammt aus einer blossen wässerigen Solution, die Gruppe *B* aus Speichel, die Gruppe *C* aus Harn.

Da dieses Salz etwas hygroskopisch ist, so verdunstet eine damit

geschwängerte Solution oftmals nicht eher vollständig, als bis eine

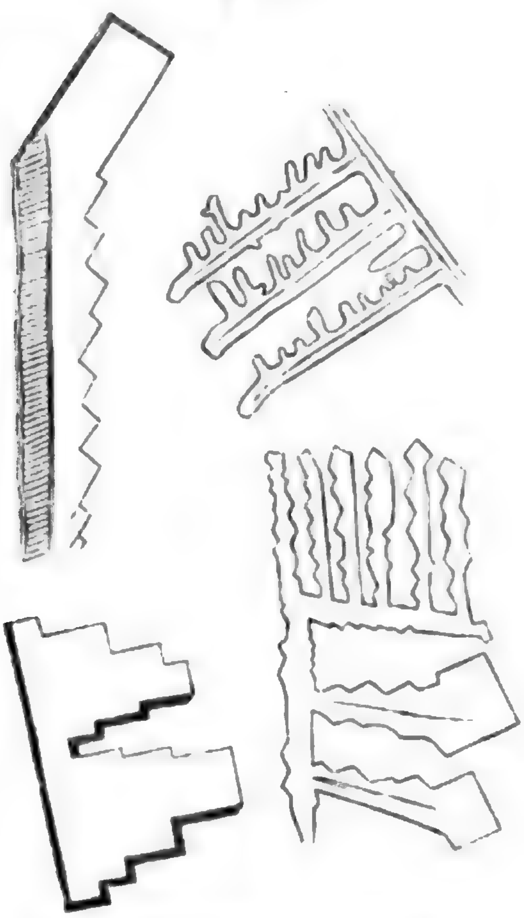
Fig. 173.



Chlorammonium

schwache Erwärmung eintritt. Diese darf jedoch nicht über einen gewissen Grad hinausgehen, weil das Salz sonst sich verflüchtigen würde.

Fig. 174.



Schwefelsaures Ammoniak.

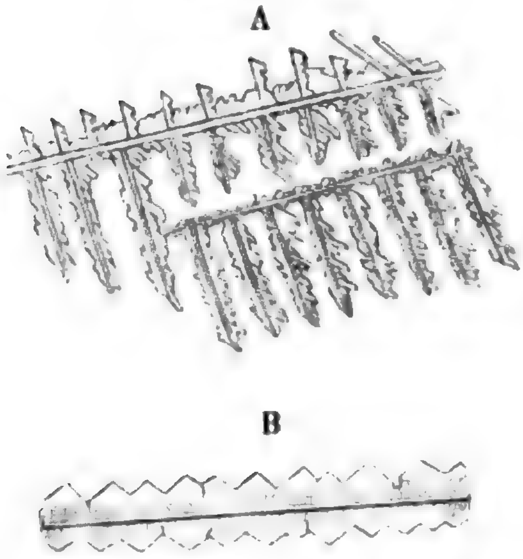
8. Schwefelsaures Ammoniak (Fig. 174) giebt ebenfalls dendritische Bildungen, wenn es auf einer Objecttafel verdunstet. Vom Chlorammonium unterscheidet man sie jedoch leicht an den zusammengeflossenen rectangulären vierseitigen Plättchen, aus denen die Verästelungen bestehen. Von den Formationen des salpetersauren Natrons unterscheiden sie sich durch andersartige Ecken und ausserdem auch noch durch die bei höherer Temperatur eintretende Verflüchtigung.

9. Phosphorsaures Ammoniak (Fig. 175 a. f. S.) giebt beim Verdunsten ebenfalls eine dendritische Krystallisation, die aber in der Regel viel unregelmässiger ist als vom schwefelsauren Ammoniak. Die Hauptaxen, auf denen die Verästelungen stehen, verlaufen

meistens parallel (*A*), was beim Chlorammonium nur selten vorkommt. Die Unterscheidung vom schwefelsauren Ammonium fällt schon etwas schwerer, da manche dendritische Gestaltungen (*B*) mit denen dieses Salzes grosse Aehnlichkeit haben.

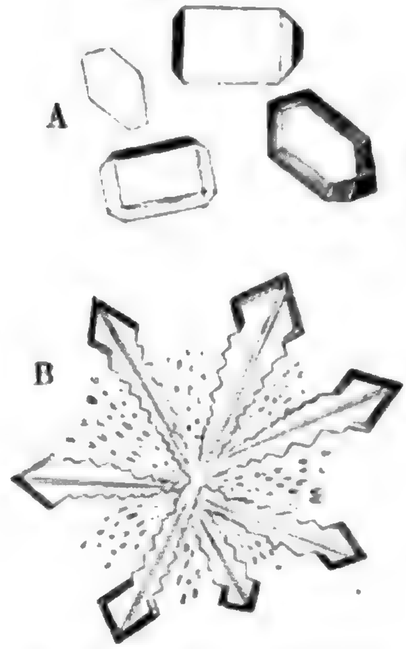
10. Phosphorsaures Natronammoniak (Fig. 176). Die Krystalle dieses Doppelsalzes, das auch im Harne vorkommt, gehören zum

Fig. 175.



Phosphorsaures Ammoniak.

Fig. 176.

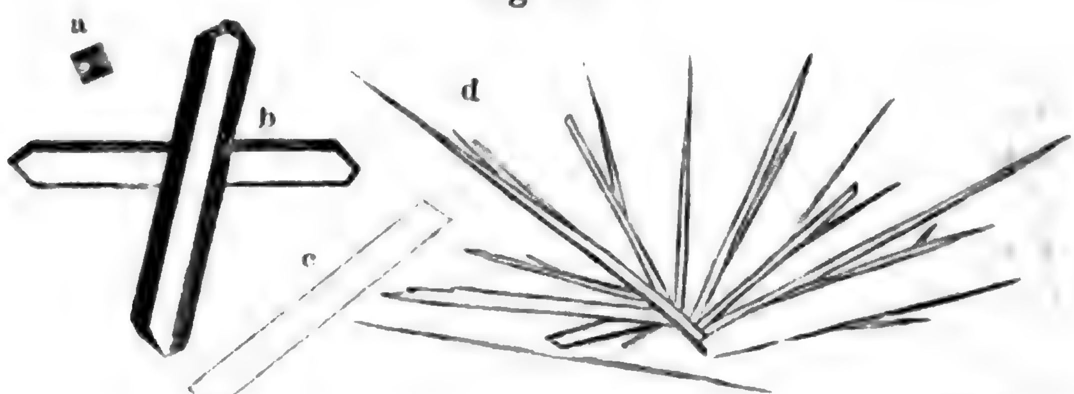


Phosphors. Natronammoniak.

monoklinischen Systeme. Die bei *A* abgebildeten haben sich aus einer wässerigen Solution durch langsames Verdunsten abgesetzt; *B* zeigt die dendritische Form der Krystallisation beim schnellen Verdunsten auf einer Objecttafel.

11. Oxalsaures Ammoniak (Fig. 177). Die Grundform der Krystalle dieses Salzes ist das Quadratoctaëder (*a*), in der es jedoch selten vor-

Fig. 177.



Oxalsaures Ammoniak.

kommt. Erfolgt die Krystallisation nur etwas langsam, so entstehen quadratische Prismen (*b*) mit stumpfem, auch wohl abgeplattetem Polflächenwinkel, oder manchmal bilden sich auch dünne prismatische Platten (*c*), welche an jene des schwefelsauren Kalks erinnern. Schiessen die Kry-

stalle etwas rascher an, so entstehen dünne, sehr spitze Nadeln (*d*), die bald isolirt daliegen, bald wie aus einem gemeinschaftlichen Mittelpunkte divergiren, oder sich auch wohl kreuzförmig decken. Ihre Oberfläche ist oftmals rauh, wie angefressen.

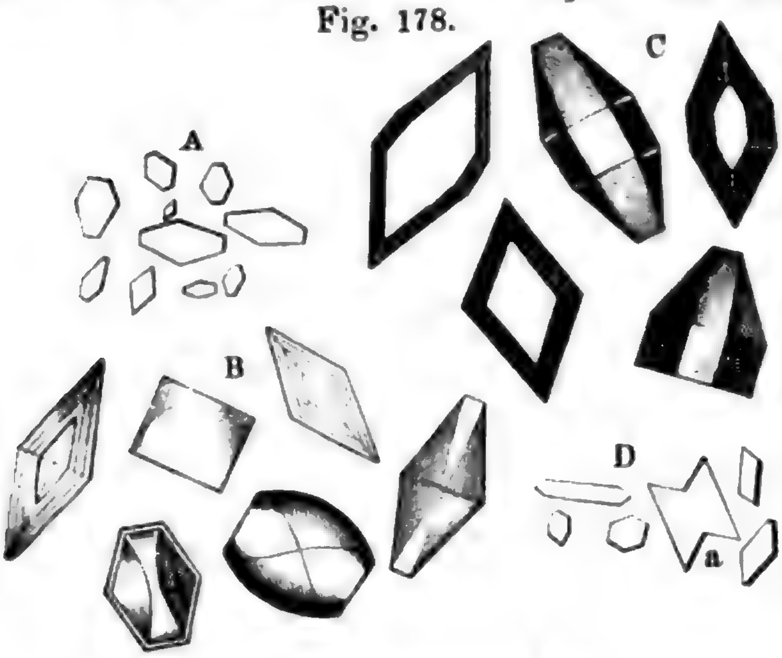
Die Löslichkeit in Wasser unterscheidet diese Krystalle leicht von denen des schwefelsauren Kalks sowohl als des oxalsauren Kalks, mit denen sie sonst leicht könnten verwechselt werden.

12. Saures weinsteinsaures Kali (Fig. 178). Sechsseitige Prismen, die aber durch Abstumpfen der Kanten und Ecken in mehrfachen Modificationen vorkommen, deren hauptsächlichste in der Figur angegeben sind.

A sind Krystalle, wie sie sich bilden, wenn eine Salpetersolution mit einer Weinsteinsäuresolution auf einem Objecttäfelchen rasch gemischt wird.

B ist das Product eines langsamen Zusammentretens dieser beiden Flüssigkeiten.

Fig. 178.



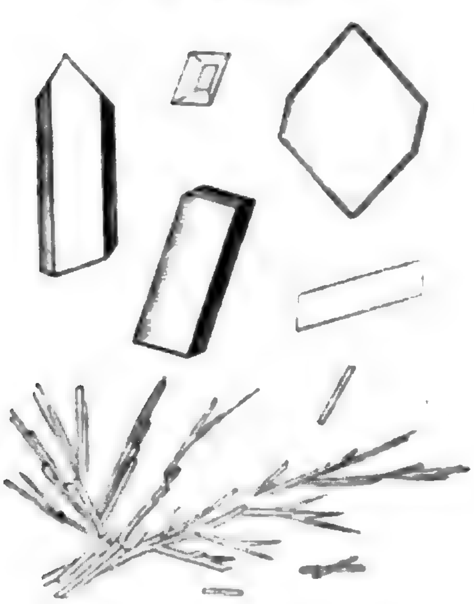
Saures weinsteinsaures Kali.

C entsteht durch langsame Präcipitation auf die früher erwähnte Weise.

D entsteht durch Vermischung der Weinsteinsäuresolution mit der Solution von kohlensaurem Kali. Darunter kommen auch Zwillingskrystalle (*a*) vor, welche denen vom schwefelsauren Kalk gleichen.

13. Doppelt oxalsaures Kali (Fig. 179). Die Grundform ist ein Rhombenoctaëder. Meistens indessen kommen rhombische Prismen vor, die wenig oder gar nicht zugespitzt sind. Manche Krystalle stellen dünne Plättchen dar. An den Rändern des verdunstenden Tropfens zeigen sich dendritische Figuren, die gänzlich aus kleinen zusammenhängenden Prismen zusammengesetzt sind.

Fig. 179.

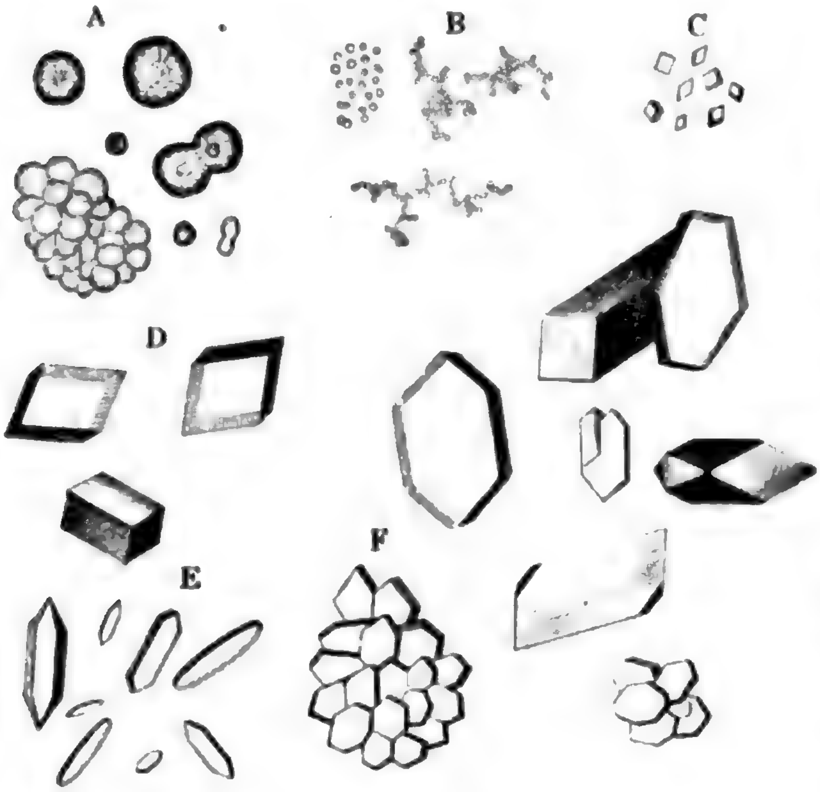


Doppelt oxalsaures Kali.

14. Kohlensaurer Kalk (Fig. 180 a. f. S.), einer der verbreitetsten Körper in thierischen und pflanzlichen Geweben, aber meistens amorph auftretend als Bestandtheil der Zellmembranen u. s. w., oder auch in unregelmässigen rundlichen Körnern.

Ganz ähnliche Körnchen entstehen nach einiger Zeit in dem Präcipitate, welches auftritt, wenn lösliche Kalksalze durch kohlensaure Alkalien präcipitirt werden. Diese Körnchen können grösser oder kleiner sein, sie können isolirt vorkommen oder zu Gruppen von verschiedener Grösse vereinigt sein. Bei *A* sind einzelne solche Körner abgebildet, welche zuletzt aus der Metamorphose eines Präcipitats hervorgingen, das durch die Vermischung concentrirter Solutionen von Chlorcalcium und kohlensaurem Kali entstand. In den grösseren erkennt man einen deutlichen gekörnten Kern, von dem manchmal Strahlen nach der Peripherie gehen. Kleinere Präcipitatkörperchen, durch Vermischung verdünnter Solutionen der nämlichen Salze entstehend, sind bei *B* dargestellt. Werden die Solutionen im kochenden Zustande gemischt, dann bilden sich kleine rhomboëdrische Krystalle *C*.

Fig. 180.



Kohlensaurer Kalk.

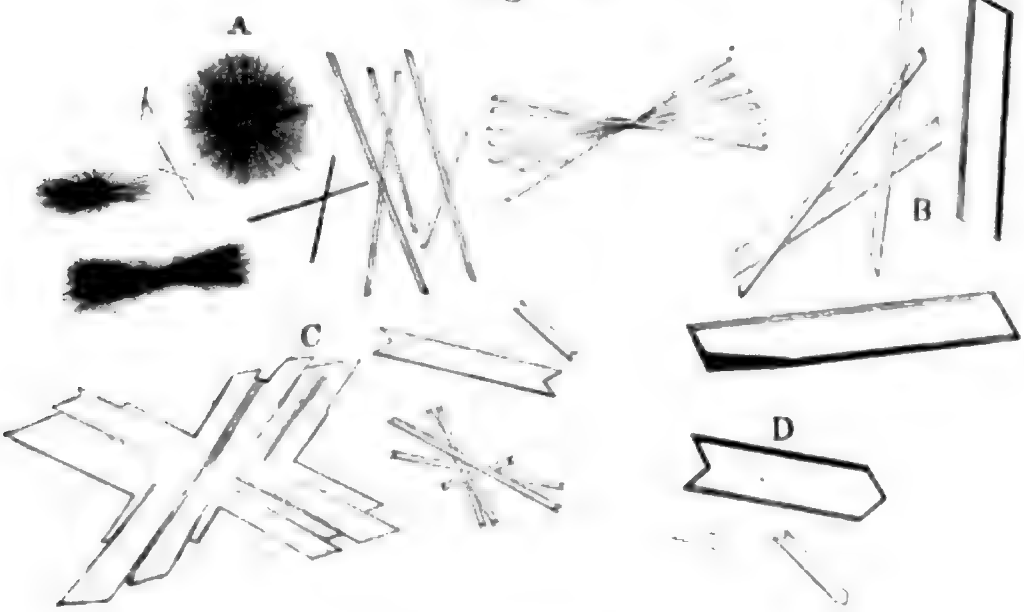
Im organischen Reiche erscheint der krystallisirte kohlensaure Kalk immer in der Kalkspathform und niemals in der Arragonitform. Die häufigste Form ist das Rhomboëder, wie bei *D*, aus den Parenchymzellen des Holzes von *Cycas circinalis*. Die Flächenneigung an den Polkanten ist 101° 5′; der mit dem Mikrogoniometer gemessene Flächenwinkel, woraus der Neigungswinkel berechnet wird, beträgt 101° 54′.

Nicht selten kommt aber auch der kohlensaure Kalk als eine Vereinigung des Rhomboëders der Grundform mit dem sechsseitigen Prisma vor, wo er dann kurze dicke Säulen bildet, oder als Skalenoëder für sich allein oder mit Prismen vereinigt. *E* sind Krystalle aus dem Rückenmarkskanale des Frosches; *F* sind Kalkkrystalle, welche verschiedene Süsswasseralgen incrustirten.

In der That kommt dieser Körper in so vielen Formen vor (Hauy zählte schon 154, Bournon aber 700 Varietäten des Kalkspaths auf), dass man ihn nicht immer leicht aus der Krystallform zu erkennen vermag. Etwaige Zweifel lassen sich dann leicht heben, wenn man verdünnte Salpetersäure oder Salzsäure zusetzt: die Krystalle werden dadurch aufgelöst und es entwickeln sich Luftbläschen von kohlensaurem Gas.

15. Schwefelsaurer Kalk (Fig. 181). Die Krystalle dieses Salzes gehören zum monoklinischen Systeme. Wird eine Kalksolution

Fig. 181.



Schwefelsaurer Kalk.

mit einem schwefelsauren Salze auf einer Glastafel vermischt, so entstehen zahlreiche, ungemein kleine nadelförmige Krystalle (*A*), die sich zu sternförmigen oder sanduhrförmigen Gruppen vereinigen, deren nähere Gestalt aber wegen der Kleinheit sich nicht gut genauer bestimmen lässt. Kommen die Flüssigkeiten langsamer zusammen, dann bilden sich grössere Krystalle (*B*), nämlich lange abgeplattete sechsseitige Prismen, die an beiden Enden eine schiefe Endfläche haben. Den spitzen Winkel an dieser Stelle bestimmte C. Schmidt zu 52° 26′.

Neben diesen isolirten oder gruppenweise vereinigten Krystallen kommen auch vielfältig Zwillinge vor, die für den schwefelsauren Kalk sehr charakteristisch sind und die auch in Pflanzengeweben (Musaceen, Zingiberaceen, Scitamineen) nicht selten angetroffen werden. Es giebt aber zwei Hauptformen dieser Zwillingskrystalle, zuerst nämlich jene (*D*), wo durch einfache Verwachsung zweier Individuen ein Zwilling entstanden ist und die durchaus den bekannten Gypskrystallen des Montmartre mit einem einspringenden und einem ausspringenden Winkel gleichen, und zweitens andere (*C*), die nur einspringende Winkel besitzen.

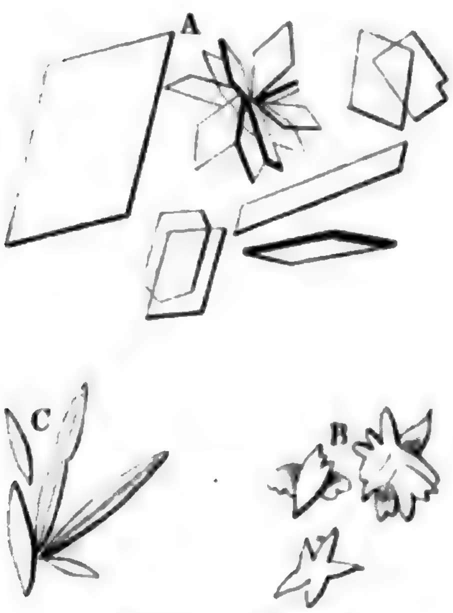
Der schwefelsaure Kalk löst sich nur in sehr vielem Wasser, in etwa 460 Theilen; auch in Essigsäure, Salzsäure, Salpetersäure und Ammoniak ist er nur schwer löslich, in Alkohol und Aether unlöslich.

16. Phosphorsaurer Kalk (Fig. 182 a. f. S.). Derselbe zählt zwar zu den verbreitetsten Bestandtheilen der pflanzlichen und thierischen Gewebe, namentlich der letzteren, und er kommt auch häufig in thierischen Flüssigkeiten vor; indessen trifft man ihn nur sehr selten krystallisirt an.

Wird einer Chlorcalciumsolution eine Auflösung von phosphorsaurem

Natron oder phosphorsaurem Ammoniak zugesetzt, so entsteht ein Präcipitat von neutralem phosphorsaurem Kalk; dasselbe ist ganz amorph und molekulärhäutig. Nach ein paar Stunden verschwinden diese Häute allmälig wieder und werden durch Krystalle (*A*) ersetzt, die in der stellenweise hell gewordenen Flüssigkeit entstehen. Diese Krystalle gehören zum monoklinischen Systeme, sie sind tafelförmig und viereckig, manchmal aber durch Abstumpfung der Kanten sechseckig. Häufig hängen sie mit den spitzen Winkeln gruppenförmig zusammen. Als Mittel aus fünf Messungen erhielt ich für die Winkel 56° 4′ und 125° 6′, während sie C. Schmidt zu 33° 25′ und 146° 35′ angiebt.

Fig. 182.



Phosphorsaurer Kalk.

Wegen der geringen Winkelverschiedenheit könnten sie leicht mit den Krystallen des schwefelsauren Kalks verwechselt werden. Davon unterscheiden sich aber die Krystalle des basischen phosphorsauren Kalks durch die vollkommene Unlöslichkeit im Wasser, während dieselben dagegen in Essigsäure, Salzsäure und Salpetersäure sich ganz leicht lösen. Die nämlichen Mittel reichen aus, um sie von den Harnsäurekrystallen zu unterscheiden.

Simon (Handb. d. angewandten med. Chemie, Thl. II, Fig. 26) bildet Krystalle von phosphorsaurem Kalke aus einem Harnsedimente ab, die zwar sehr klein und unregelmässig sind (Fig. 182, *B*), aber doch zu der nämlichen Grundform, wie die oben genannten, zu gehören scheinen.

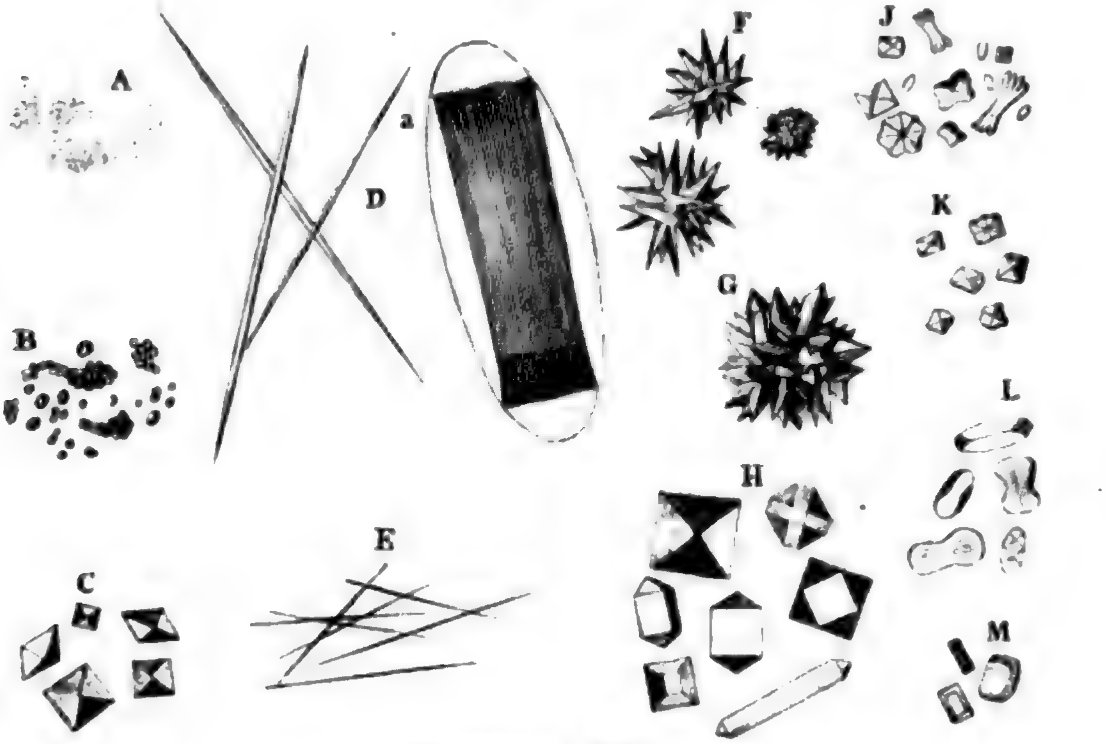
Einmal fand ich in den Sputis bei einer chronischen Bronchitis Krystalle (*C*), die sich weder in Wasser, noch in Aether und Alkohol lösten, wohl aber in Essigsäure, in Salzsäure und Salpetersäure, mithin wahrscheinlich aus phosphorsaurem Kalke bestanden, wenn auch die Form von dem durch Präcipitation erhaltenen basischen Salze abweicht. Es waren nämlich Rhombenoctaëder mit einem Polflächenwinkel von 16°, und manche waren zwillingsartig verwachsen.

Wird Knochen durch Salpetersäure ausgezogen und der gelöste basisch phosphorsaure Kalk daraus durch Ammoniak präcipitirt, so ist das Präcipitat amorph und besteht aus durchscheinenden häutigen Lappen, die selbst nach Verlauf mehrerer Tage keine Veränderung erleiden.

17. Oxalsaurer Kalk (Fig. 183). Die Krystalle dieses Körpers kommen zuweilen in Harnsedimenten vor, sehr allgemein aber gehören sie zum Inhalte der Pflanzenzellen. Die Grundform ist ein Quadratoctaëder, und davon giebt es dreierlei Modificationen, die durch den Neigungswinkel der Flächen am Pole sich von einander unterscheiden. Dieser

Winkel kann nämlich sehr stumpf sein und 119° 34′ betragen, oder er kann sehr spitz sein und 12° 14′ messen. Ausserdem kommen aber auch

Fig. 188.



Oxalsaurer Kalk.

noch, wenngleich seltener, Octaëder dieses Salzes vor, wo der Neigungswinkel zwischen diesen beiden Extremen liegt und 46° 28′ beträgt. Die Axen dieser drei Formen verhalten sich nach C. Schmidt = 1 : 4 : 16. Die beiden mehr abgestumpften Octaëder kommen sowohl für sich vor (*C* aus einem Harnsedimente, *H* aus den Parenchymzellen von *Tradescantia ciliata*, *K* aus Guano), als in Gemeinschaft mit einem vierseitigen Prisma, das gewöhnlich kurz und dick ist. Die stärker zugespitzten Octaëder sind immer mit einem solchen Prisma zu langen Nadeln verbunden (*D* sind sogenannte Raphiden aus den Parenchymzellen von *Agave americana*, *E* sind solche aus dem Stengel der *Phytolacca decandra*), und in der unverletzten Pflanzenzelle (*D a* eine Zelle vom Blattstiele der *Musa paradisiaca*) liegen sie bündelweise zusammen. Die Octaëder mit mittelstumpfen Winkeln (46° 28′) kommen selten für sich allein vor, sondern gewöhnlich sind sie zu Krystalldrusen vereinigt, die in der Regel eine grosse Anzahl Individuen enthalten (*F* aus dem Parenchym von *Opuntia microdasys*, *G* aus jenem von *Yucca aloëifolia*).

Wird eine Kalksalzsolution mit einer Auflösung von oxalsaurem Ammoniak gemischt, so ist das entstehende Präcipitat immer amorph. Es besteht aus sehr kleinen, nur wenig zusammenhängenden Molekeln (*A*), die sich nach einiger Zeit zu grösseren, gruppenweise vereinigten Kügelchen (*B*) sammeln, und diese erleiden dann keine fernere Veränderung. Erfolgt aber die Präcipitation durch saures oxalsaures Kali, dann ist der entstandene oxalsaure Kalk krystallinisch (*J*) und er besteht meistens

aus kleinen Octaëdern, die zu den stumpfspitzigen gehören. Manchmal sieht man die Verbindung mit einem Prisma, und ausserdem bilden sich auch kleine Krystalldrusen, die aus sehr kleinen verwachsenen Nadeln zu bestehen scheinen. Einzelne Octaëder erscheinen, durch Abstutzung der Winkel, als kleine achteckige Sternchen; andere haben eine noch stärker unregelmässige Form. Vielleicht gehört hierher die von Golding Bird (*On urinary Deposits* 1844, p. 123) beschriebene und unter *L*, Fig. 183, abgebildete Sanduhrform, unter welcher die Krystalle des oxalsauren Kalks manchmal in Harnsedimenten vorkommen sollen. Auch die unter *M* abgebildeten Krystalle, die ich zugleich mit harnsaurem Ammoniak und freier Harnsäure in einem Harnsedimente fand, gehören wahrscheinlich zu dieser Form.

Der oxalsaure Kalk ist ganz unlöslich in Alkohol, in Aether, in Ammoniak, in Aetzkali und in Essigsäure, auch wenn diese concentrirt ist, leicht löslich dagegen in Salpetersäure und Salzsäure. Durch die letztgenannte Eigenschaft kann er vom schwefelsauren Kalk unterschieden werden, dessen Krystalle, wenn sie dünn und nadelförmig sind, mit den Raphiden des oxalsauren Kalks verwechselt werden könnten. Da indessen der schwefelsaure Kalk in diesen Säuren nicht durchaus unlöslich ist, so darf immer nur eine sehr geringe Menge von einer der beiden Säuren den zu untersuchenden Krystallen zugesetzt werden. An der Löslichkeit in Salz- und Salpetersäure erkennt man aber auch solche oxalsaure Kalkkrystalle, welche, wie die unter *M* dargestellten, mit manchen Formen der Harnsäure einige Aehnlichkeit haben, während die Unlöslichkeit in Essigsäure zur Unterscheidung von den Krystallen der phosphorsauren Ammoniakbittererde dient.

Zur Bestimmung der Krystalle dient endlich auch noch das Verbrennen, entweder auf einer Objecttafel, oder, wenn man eine hinreichende Menge Krystalle sammeln kann, auf einem kleinen Platinbleche. Der oxalsaure Kalk wird dabei, gleich anderen eine organische Säure enthaltenden Kalksalzen, in kohlensauren Kalk umgewandelt und dieser braust mit Säuren auf.

Sind die Octaëder aus einer verdunstenden Flüssigkeit entstanden, so könnten sie mit denen von Chlornatrium verwechselt werden. Die letzteren sind aber regelmässige Octaëder, jene dagegen vom oxalsauren Kalke sind Quadratoctaëder, was man beim Rollen eines Krystalls erkennen kann. Beim Zusatze der geringsten Menge Wasser schwindet übrigens alsbald jede Ungewissheit.

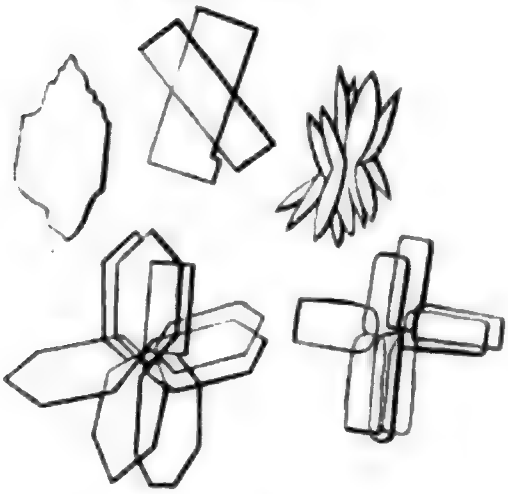
18. Phosphorsaure Bittererde (Fig. 184). Da dieses Salz in Wasser ziemlich löslich ist, so kommt es nur selten, wenn überhaupt im krystallisirten Zustande, in organischen Flüssigkeiten vor, wenngleich es im amorphen Zustande in die Zusammensetzung der Knochen, mancher pathologischer steiniger Concremente, sowie auch der Samen der Gramineen eingeht. Doch ist es hier mit anderen Körpern verbunden, die seine Löslichkeit beschränken.

Wird eine concentrirte Auflösung von schwefelsaurer Magnesia mit einer solchen von phosphorsaurem Natron gemischt, so entsteht ein amorphes häutiges Präcipitat, welches nach einiger Zeit wieder verschwindet, und an seiner Statt erscheinen tafelförmige Krystalle, meistens in sternförmigen Gruppen. Viele von diesen Krystalltafeln sind rectangulär, andere sind unregelmässig sechseckig. Wahrscheinlich gehören sie zum rhombischen Systeme.

Einige Aehnlichkeit haben sie mit den Krystallen von phosphorsaurem Kalke und von Harnsäure. Die Löslichkeit in Wasser gestattet aber eine leichte Unterscheidung.

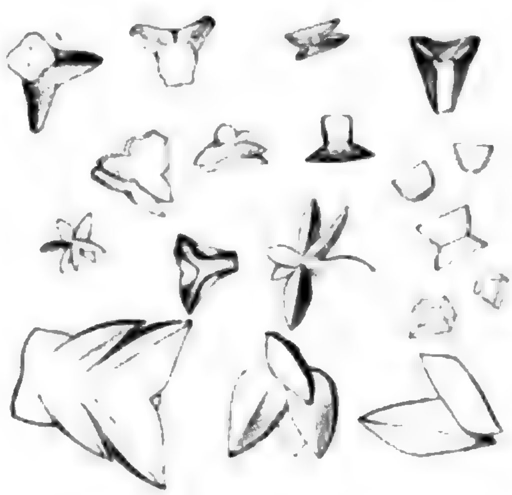
Wenn auch in der Grundform mit den vorhergehenden übereinstimmend, unterscheiden sich doch im Ganzen davon die Krystalle der bibasischen phosphorsauren Bittererde (Fig. 185), die man erhält,

Fig. 184.



Phosphorsaure Bittererde

Fig. 185.

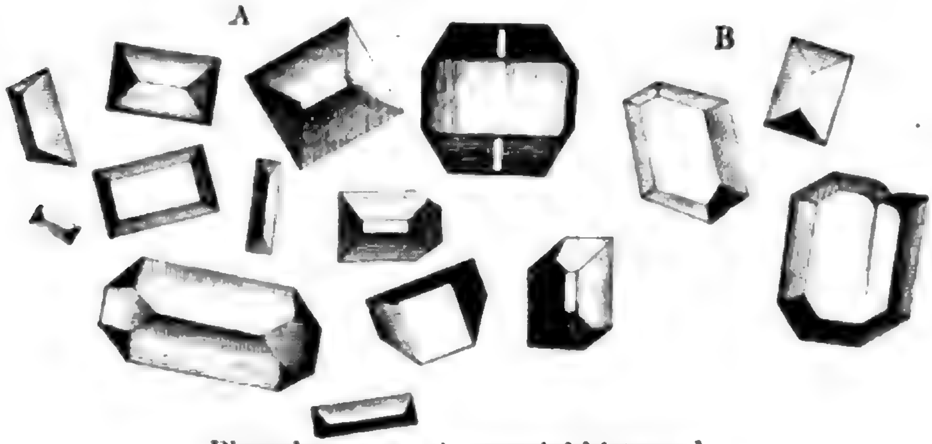


Bibasische phosphors. Bittererde.

wenn man Solutionen von schwefelsaurer Magnesia und von bibasischem phosphorsaurem Ammoniak mit einander mischt. Die rhombischen Tafeln dieses Salzes kommen selten für sich vor, in der Regel verwachsen sie unter einander zu zusammengesetzten Figuren, die meistens aus symmetrisch zu beiden Seiten einer Axe befindlichen lanzettförmigen Krystallplättchen bestehen, welche durch gebogene Linien begrenzt werden.

19. Phosphorsaure Ammoniakbittererde (Fig. 186), ein Salz,

Fig. 186.



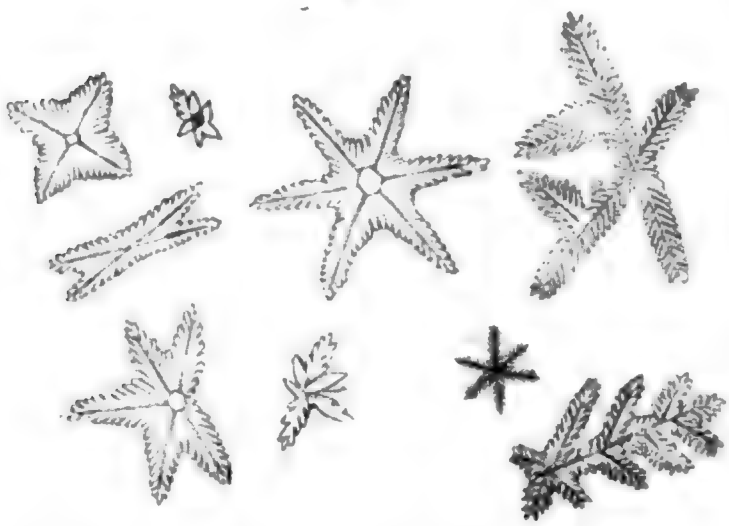
Phosphorsaure Ammoniakbittererde.

welches sehr häufig in thierischen Substanzen, namentlich bei übermässiger Ammoniakbildung, vorkommt, und dessen Krystalle (*A* aus einem Harnsedimente) durch ihre charakteristische Form leicht zu erkennen sind. Sie zeigt zwar bei den verschiedenen Krystallen noch mancherlei Differenzen; doch lassen sich alle auf die Grundform des rhombischen Verticalprisma zurückführen, oder auf die hemiedrische Form des dreiseitigen Prisma mit geraden oder geneigten Endflächen. Die Mehrzahl der Krystalle gehört der letztern Form an.

Krystalle von gleicher Form (*B*) wie jene, die im Harne, in den Fäces u. s. w. vorkommen, kann man erhalten, wenn man phosphorsaurer Magnesia Chlorammonium zusetzt.

Eigenthümlich gestaltet sind die Krystalle der bibasischen phosphorsauren Ammoniakbittererde (Fig. 187), die in faulendem Harne meistens spontan auftreten und alsbald erscheinen, wenn gesundem Harne im Uebermaass Ammoniak zugesetzt wird. Es sind dendritische Figuren, die mehr oder weniger zusammengesetzt sind. Manche davon haben etwas Sternförmiges mit vier bis sechs Strahlen von farrenblattartigem Aussehen. Andere bestehen aus einer Vereinigung mehrerer Axen, von denen wieder Nebenaxen abgehen, denen kurze krystallinische Blättchen meistens in schiefer Richtung aufgesetzt sind.

Fig. 187.



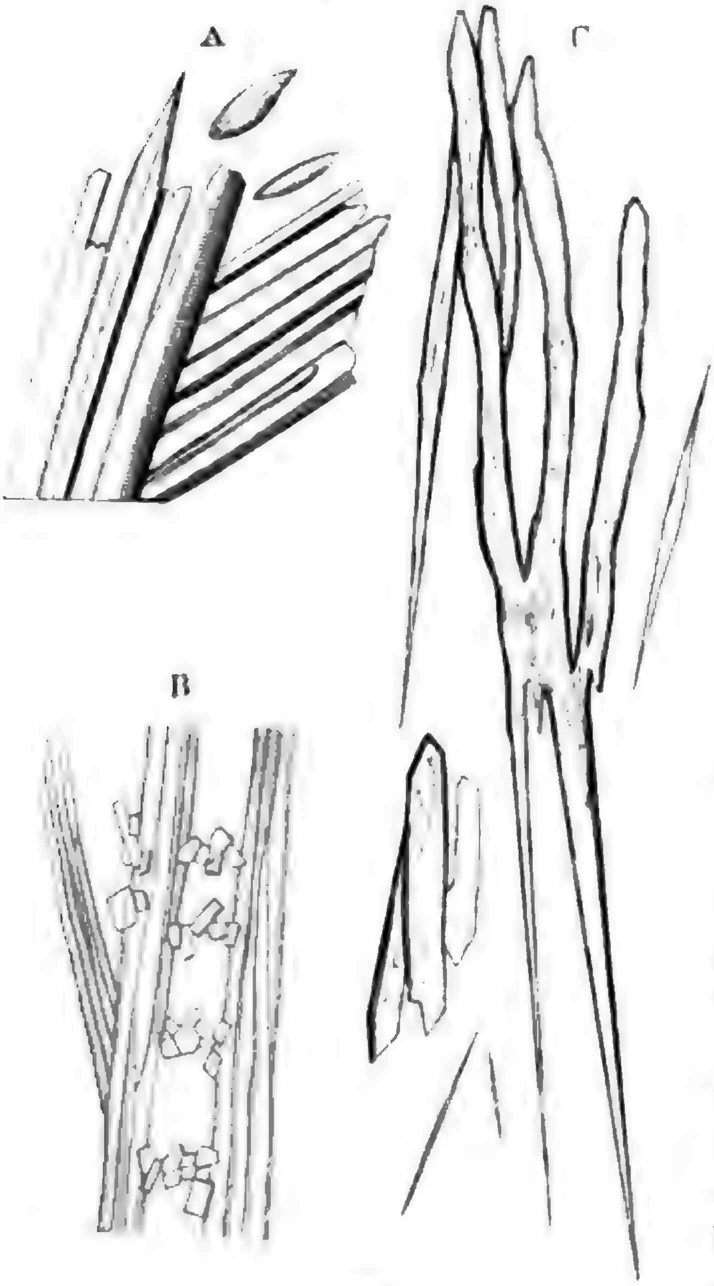
Bibasische phosphorsaure Ammoniakbittererde.

Ganz gleiche Bildungen entstehen, wenn einer Mischung von Ammoniak und bibasischem phosphorsaurem Ammoniak ein Magnesiasalz zugesetzt wird.

Charakteristisch für dieses Doppelsalz ist seine Löslichkeit in Säuren, selbst in Essigsäure.

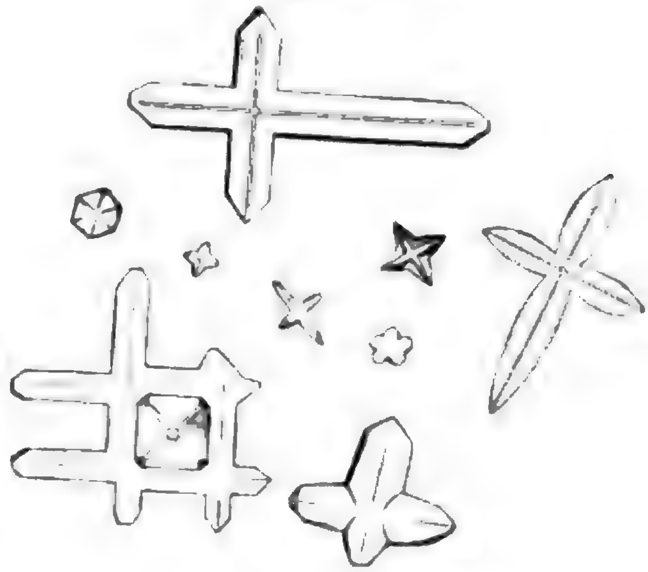
20. Harnstoff (Fig. 188). Wenn der Harnstoff aus einer wässerigen Solution herauskrystallisirt, so bildet er ziemlich lange, selten regelmässig begrenzte Prismen, die zum rhombischen Systeme gehören (C. Schmidt). An dem auf einem Objecttäfelchen krystallisirenden Harnstoffe ist aber diese Form nur schwer mit Bestimmtheit zu erkennen. Charakteristisch ist die Vereinigung dieser Prismen zu platten Bündeln, denen wieder andere unter spitzem Winkel aufgesetzt sind (*A* und *B*). Oftmals liegen zwischen den einzelnen Bündeln Gruppen von kurzen prismatischen Krystallen (*B*). Ist die Solution stärker verdünnt, so erfolgt die Krystallisation auf einem Objecttäfelchen mit mehr Unregelmässigkeit und es entstehen verästelte Figuren (*C*), die hin und wieder

Fig. 188.



Harnstoff.

Fig. 189.



Harnstoff mit Chlornatrium.

in sehr lange scharfe Spitzen auslaufen. Dünne, isolirte Nadeln kommen zerstreut darunter vor.

Enthält die Solution des Harnstoffs gleichzeitig Chlornatrium, so erhält man Krystalle dieses Doppelsalzes (Fig. 189), die von jenen der beiden zusammensetzenden Substanzen sehr verschieden sind. Immer ist die Kreuzform bei denselben vorherrschend. In der Regel sind es einzelne Kreuze mit vier rechtwinkelig verbundenen Armen. Oftmals sind aber auch die Formen mehr zusammengesetzt.

21. Salpetersaurer Harnstoff (Fig. 190 a. f. S.). Wird eine etwas concentrirte wässerige Harnstoffsolution mit Salpetersäure gemischt, so entstehen Krystalle (*A*), die ursprünglich Rhombenoctaëder sind, meistens aber in rhombische und sechsseitige Tafeln mit spitzen Winkeln von 82° sich umgeändert haben. Einzelne Krystalle liegen isolirt da, andere sind unter einander verbunden (*B*) und haben manchmal dendritische Gestalten, an denen man aber immer noch die Ecken der rhombischen Tafeln erkennen kann; dadurch gerade unterscheiden sie sich von den dendritischen Krystallisationen der Ammoniaksalze.

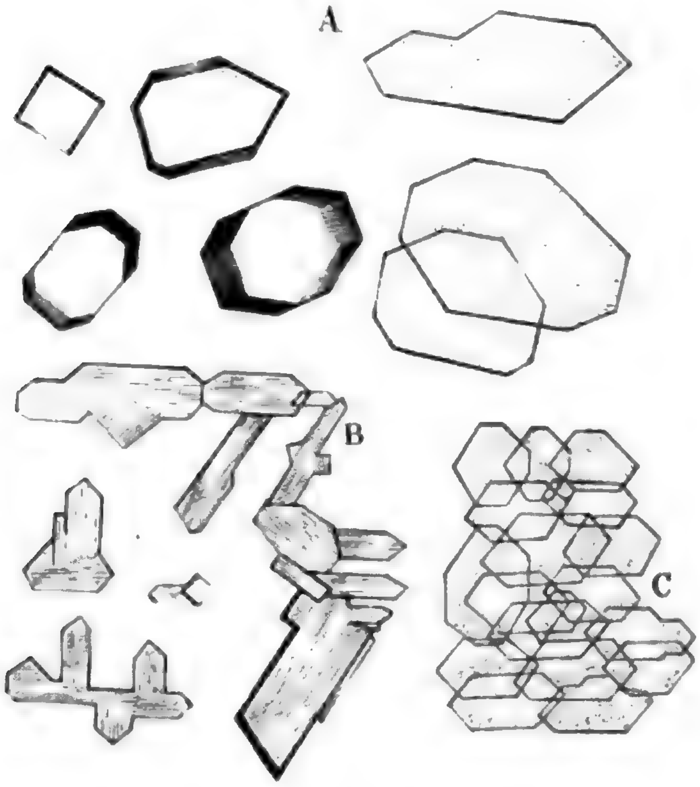
Wird eine schwächere Harnstoffsolution, z. B. Harn, mit Salpetersäure gemischt, so dass der salpetersaure Harnstoff gelöst bleibt, der sich dann beim Verdunsten auf einem Glastäfelchen absetzt, so haben die Krystalle (*C*) die nämliche Form, die Tafeln sind aber dünner und meistens unter einander zusammenhängend.

Ueber die Charaktere, wodurch man den salpetersauren Harnstoff

vom salpetersauren Natron unterscheiden kann, ist beim letztgenannten Salze gehandelt worden.

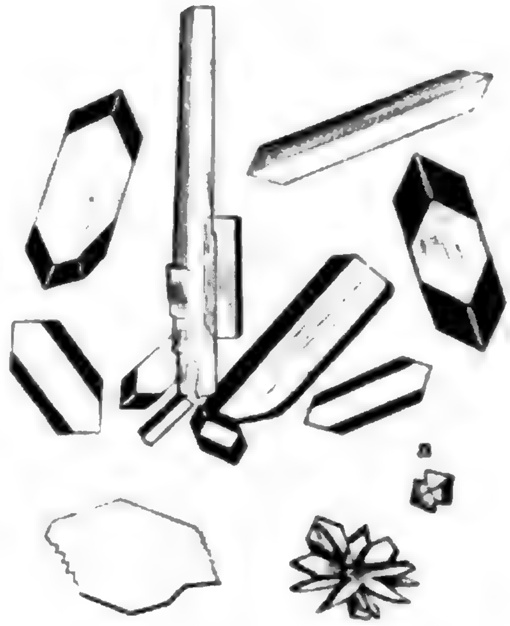
22. Oxalsaurer Harnstoff (Fig. 191). Die Krystalle dieses Salzes sind kürzere oder längere Prismen, die zum monoklinischen Systeme

Fig. 190.



Salpetersaurer Harnstoff.

Fig. 191.



Oxalsaurer Harnstoff.

gehören. Die schiefen Endflächen auf beiden Seiten sind in der Regel sehr hervortretend und charakteristisch. Der Spitzenwinkel misst 96°. Wenn sich das Salz auf einem Objecttäfelchen niederschlägt, so kommen unter den grösseren prismatischen Krystallen gewöhnlich auch einige kleinere Zwillingskrystalle (*a*) vor, welche durch Zusammenwachsen zweier Octaëder der Grundform entstanden sind.

23. Harnsäure (Fig. 192). Die Grundform der zum rhombischen Systeme gehörigen Krystalle dieser Säure ist ein rhombisches Verticalprisma. Dasselbe tritt aber in mehrfachen Modificationen auf, die zum grossen Theil in den Abbildungen dargestellt sind.

A sind kleine Krystalle, die auf der Objecttafel beim Zersetzen eines Sediments von harnsaurem Ammoniak durch Essigsäure entstanden.

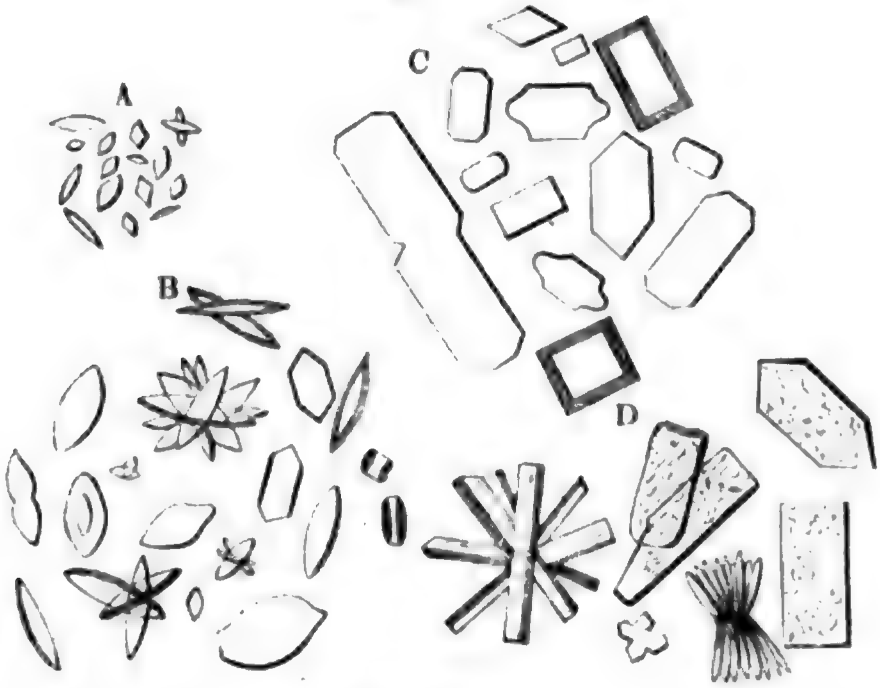
B sind ebenfalls Krystalle, die beim Zersetzen eines aus harnsaurem Ammoniak bestehenden Harnsediments durch Essigsäure entstanden, aber unter Anwendung von Wärme.

C sind Harnsäurekrystalle, wie sie im natürlichen Zustande in den Excrementen der *Boa constrictor* vorkommen.

D sind Krystalle, bei deren Bildung Salzsäure auf eine weisse, ziemlich harte steinartige Masse einwirkte, die man hin und wieder im Boden

der Molukken antrifft und die ganz aus harnsaurem Ammoniak und einer geringen Menge harnsauren Natrons besteht.

Fig. 192.



Harnsäure.

Die Harnsäurekrystalle sind im reinen Zustande ganz farblos. Die aus dem sogenannten *Sedimentum lateritium* stammenden indessen sind durch Harnfarbstoff (*Uroërythrine*) roth gefärbt, oder wenn man sie bei durchfallendem Lichte durchs Mikroskop betrachtet, erscheinen sie röthlichgelb *).

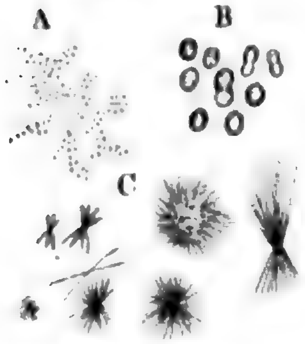
Bei der am häufigsten vorkommenden Form, den länglichen sechseckigen Tafeln, misst der spitze Winkel 99° 20′, nach C. Schmidt aber 91°.

Von den Krystallen anderer Substanzen, mit denen sie einige Aehnlichkeit haben, unterscheiden sie sich leicht durch die sehr geringe Löslichkeit in Wasser (es sind mehr denn 1000 Theile nöthig), desgleichen in Essigsäure, Salzsäure und kalter Salpetersäure. In starker Schwefelsäure sind sie löslich und ebenso in warmer Salpetersäure, wobei sie aber eine Zersetzung erfahren. Wird die Lösung in der letztgenannten Säure auf einem Glastäfelchen abgedampft, so bleibt ein rother Fleck zurück; bringt man dann auf diesen Ammoniak, so entsteht eine lebhafte purpurrothe Färbung und nun löst sich die Substanz (*Murexid*) mit gleicher Farbe leicht in Wasser.

Die harnsauren Salze, wie sie in frischen Sedimenten vorkommen, sind meistens amorph. Nach einiger Zeit jedoch erscheinen sie mehr oder weniger deutlich krystallinisch.

*) Heller (Archiv f. phys. u. pathol. Chemie u. Mikroskopie. 1844. S. 16) gedenkt eines Falles, wo die durch Salzsäure aus dem Harne abgeschiedenen Harnsäurekrystalle bei auffallendem Lichte violettroth und bei durchfallendem Lichte schön blau erschienen, und schreibt dies der Beimischung eines eigenthümlich veränderten Gallenfarbstoffes zu.

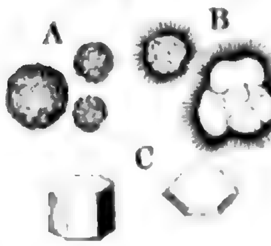
Fig. 193.



Harnsaures Ammonium.

24. Harnsaures Ammonium (Fig. 193) ist zuerst amorph-molekulär (*A*). Im sauren Harne jedoch wird es, wie Rayer (*Maladies des reins.* Par. 1839. Pl. 2) zuerst nachgewiesen hat, allmälig in grössere Kügelchen (*B*) umgewandelt. die sich weiterhin noch mit Nadeln bedecken (*C*).

Fig. 194.

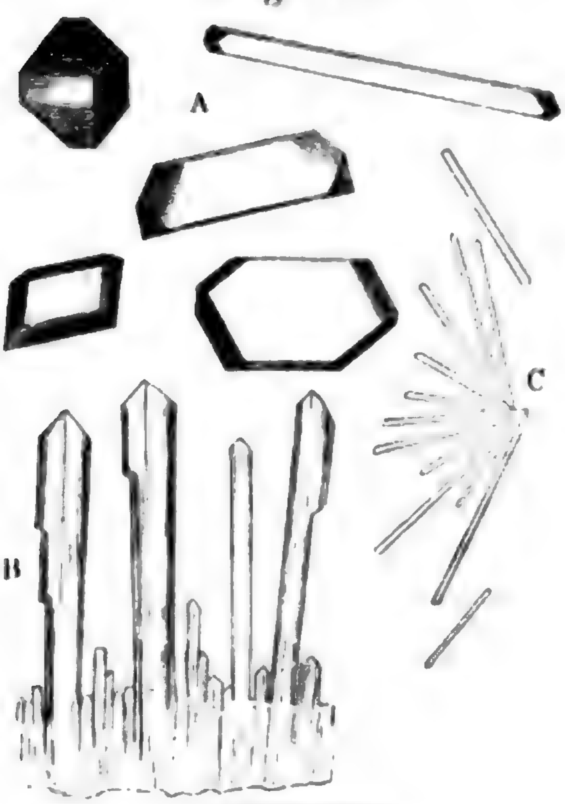


Harnsaures Natron.

25. Harnsaures Natron (Fig. 194) ist zuerst auch amorph, bildet aber dann ebenfalls durch Vereinigung der Molekeln Kügelchen (*A*), die mit den sogenannten Entzündungskugeln viele Aehnlichkeit haben, und deren Oberfläche sich weiterhin ebenso mit kleinen nadelförmigen Krystallen bedeckt (*B*). Nach C. Schmidt (Säfte und Excrete u. s. w. S. 35) verschwinden diese Kügelchen späterhin wieder, um durch kurze sechsseitige Prismen (*C*) ersetzt zu werden.

26. Hippursäure (Fig. 195). Bilden sich die Krystalle dieser Säure auf einem Objecttäfelchen aus einer wässerigen Solution durch Verdunstung, so treten sie theils isolirt auf (*A*), theils aber sind sie auch unter einander verwachsen (*B*). Die Grundform ist das Rhombenoctaëder; durch Abstumpfung der Kanten und Ecken wird dieses aber auf mannigfache Weise modificirt. Manche Krystalle sind tafelförmig, die meisten aber prismatisch. Diese Form haben sie auch meistens, wenn sie durch Verdunstung einer ätherischen Solution entstehen, in welchem Falle die Krystalle zu Gruppen prismatischer Nadeln vereinigt zu sein pflegen, die von einem gemeinschaftlichen Mittelpunkte aus divergiren (*C*).

Fig. 195.

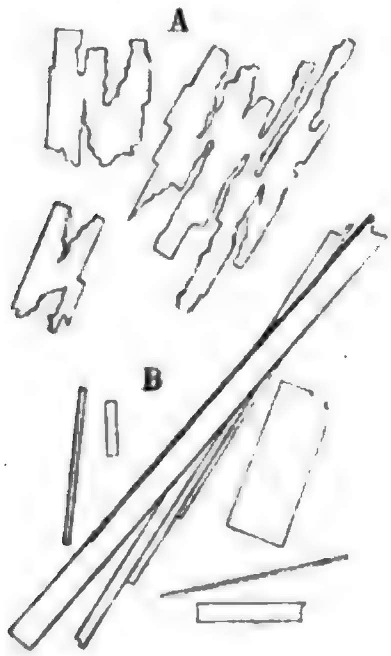


Hippursäure.

27. Benzoësäure (Fig. 196). Wenn die in der Siedhitze gelöste Benzoësäure langsam erkaltet, so bilden die sich präcipitirenden Krystalle lange vierseitige Prismen oder dünnere Krystalltafeln (*B*), beide mit rechtwinkeligen Endflächen. Erfolgt dagegen die Erkaltung auf einem Objecttäfelchen rasch, so bilden sich sehr dünne Krystalltafeln (*A*), an denen noch hier und da die geradlinigen Ränder vorkommen, welche den durch langsame Krystallisation entstandenen Tafeln entsprechen.

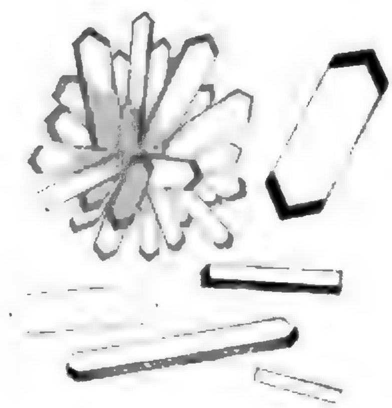
28. **Milchsaures Zinkoxyd** (Fig. 197). Die Krystalle dieses Salzes gehören zum rhombischen Systeme. Es sind Verticalprismen mit

Fig. 196.



Bensoësäure.

Fig. 197.

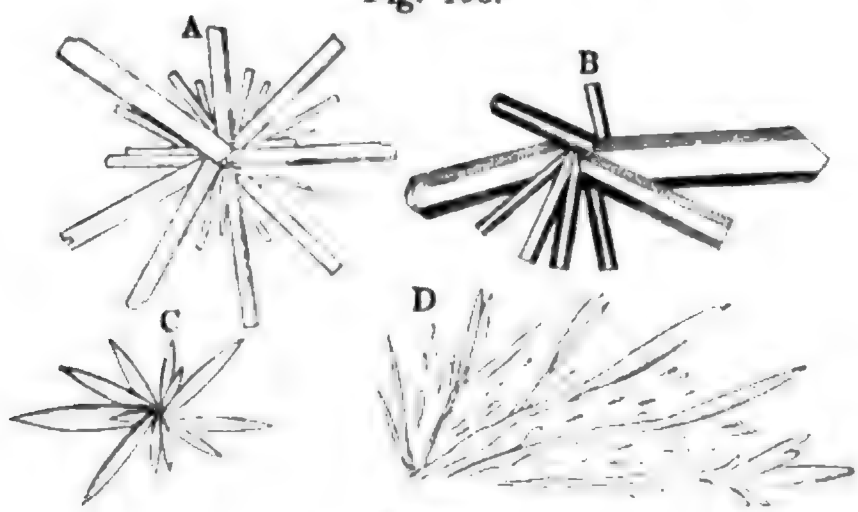


Milchsaures Zinkoxyd.

geraden Endflächen oder mit gerade angesetzten Horizontalprismen, die meistentheils zu sternförmigen Gruppen vereinigt sind *).

29. **Kreatin** (Fig. 198). Die gewöhnlichste Form der Kreatinkrystalle ist das rechteckige Prisma, welches hin und wieder schiefe End-

Fig. 198.



Kreatin.

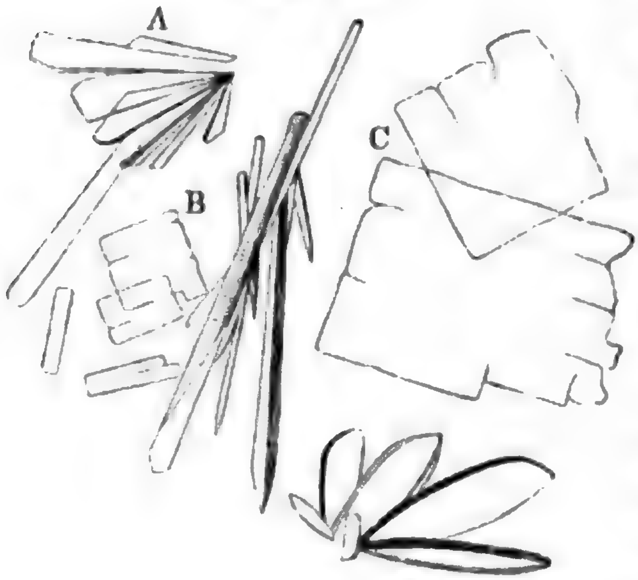
flächen besitzt, und zum klino-rhombischen Systeme gehört (*A* und *B*). Diese Prismen können auch nur in Einer Richtung vorzugsweise entwickelt sein, wo sie dann die Gestalt kürzerer oder längerer rechteckiger Krystalltafeln haben. Bei etwas rascherer Verdunstung entstehen auch

*) Nach Engelhardt (Annal. d. Chem. u. Pharm. Bd. 65, S. 395) kommt die Milchsäure in zwei isomeren Zuständen vor, als monobasische *a* Milchsäure und als bibasische *b* Milchsäure. Die Salze beider unterscheiden sich ebenfalls durch verschiedene Krystallisation. Das oben genannte Salz ist das *b* milchsaure Zinkoxyd; denn das *a* milchsaure bildet lange dünne Nadeln.

Gruppen lanzettförmiger Krystallblättchen, mit gekrümmten Rändern und an beiden Enden zugespitzt (*C*). Erfolgt die Verdunstung noch rascher, so kommt es zu einer unregelmässigen Krystallisation (*D*), in der man aber noch die nämlichen lanzettförmigen Krystallblättchen erkennt, die meistens am Ende eines durch gebogene Linien begrenzten Streifens sitzen.

30. Kreatinin (Fig. 199). Die Krystalle gehören zum nämlichen Systeme, wie jene des Kreatins, und sie stimmen sogar so nahe damit überein, dass eine Unterscheidung beider nicht immer leicht ist. Die gut entwickelten Prismen (*A* u. *B*) haben aber ein charakteristisches Kennzeichen, welches den Kreatinkrystallen fehlt: sie sind mehr oder weniger keilförmig, d. h. an dem einen Ende merklich breiter als am andern. Auch die sehr dünnen rechteckigen Krystalltafeln (*C*), welche darunter vorkommen und so aussehen, als wären sie aus mehreren neben einander liegenden zusammengesetzt, kommen in dieser Form nicht unter den Kreatinkrystallen vor.

Fig. 199.

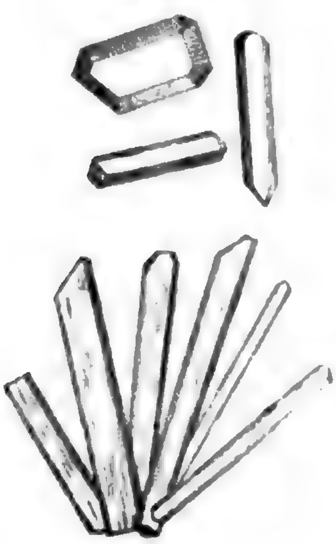


Kreatinin.

31. Taurin (Fig. 200). Die mikroskopischen Krystalle gleichen durchaus den grösseren Krystallen, welche Gmelin (Tiedemann und Gmelin, die Verdauung nach Versuchen. Heidelberg 1826) schon sehr genau beschrieb. Es sind gerade rhombische Prismen mit 111° 44′ und 68° 16′ Flächenneigung, die durch das Rhombenoctaëder und das makrodiagonale Horizontalprisma geschlossen werden.

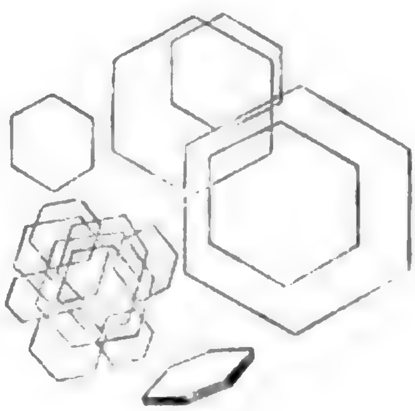
32. Cystin (Fig. 201). Die Krystalle sowohl, welche die cystinhaltigen Blasensteine zusammensetzen, als jene, welche aus der kalischen

Fig. 200.



Taurin.

Fig. 201.



Cystin.

Solution des Cystins durch Essigsäure präcipitirt werden oder bei der Verdunstung der ammoniakalischen Solution zurückbleiben, erscheinen als dünne, regelmässig sechseckige Täfelchen. Schon durch die Form lassen sie sich daher leicht von Harnsäurekrystallen und anderen krystallinischen Substanzen unterscheiden, die in Harnsedimenten vorkommen können; wäre man jedoch ungewiss, so erkennt man das Cystin leicht durch die Löslichkeit in Alkalien und in den mineralischen Säuren.

Fig. 202.

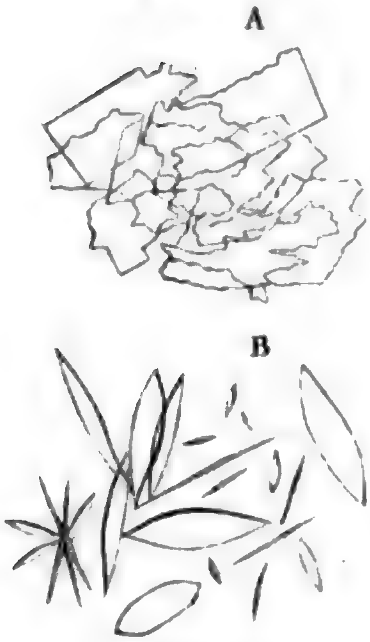


Stearin.

33. **Stearin** (Fig. 202). Gewöhnlich erhält man das Stearin dadurch, dass es sich aus einer kochenden alkoholischen Solution oder aus einer ätherischen Solution auf einem Objecttäfelchen niederschlägt, und zwar dann in amorphen Klümpchen (*A*). Wird dagegen das Stearin im Grossen bereitet, so erhält man krystallinische Massen, die aus sehr feinen, bündelförmig vereinigten Nädelchen bestehen (*B*).

34. **Stearinsäure** (Fig. 203). Die Krystalle dieser Säure gehören zum rhombischen Systeme. Die Krystalle, welche man bei der Zubereitung im Grossen erhält (*A*), sind ganz dünne Täfelchen, die auf und durch einander liegen, und von denen nur wenige deutliche Ecken und Ränder besitzen. Wenn sich die Säure in einem Uhrgläschen aus einer siedenden alkoholischen Solution absetzt, so erhält man auch ganz durchsichtige längliche rhombische Tafeln mit gebogenen Rändern (*B*), die oftmals zu sternförmigen Gruppen vereinigt sind. Manche davon sieht man daher nur auf ihrer schmalen Kante, und zwar scheinbar als Nadeln. Giebt man ihnen eine andere Stellung, so dass sie sich umkehren, dann erkennt man diesen Irrthum.

Fig. 203.



Stearinsäure.

35. **Margarin** (Fig. 204 a. f. S.). Die bei der Bereitung im Grossen erhaltenen Krystalle (*A*) des ganz reinen Margarins gehören zum monoklinischen Systeme, und haben viele Aehnlichkeit mit denen des schwefelsauren Kalkes; nur ist der spitze Winkel etwas grösser und misst 75°. Ferner sind diese Krystalle ungemein dünn und in der Regel mehr oder weniger bündelförmig zusammenhängend. Zwillinge kommen nicht vor.

Wird Margarin in siedendem Alkohol gelöst oder wird Menschenfett damit behandelt, so scheiden sich aus der erkaltenden Solution sternförmige Gruppen ungemein feiner Nadeln aus (*B*). Giesst man in diesem Momente dem Alkohol Wasser zu, so verschwinden die feinen Nadeln und man sieht nur Gruppen rundlicher zusammenhängender Körperchen

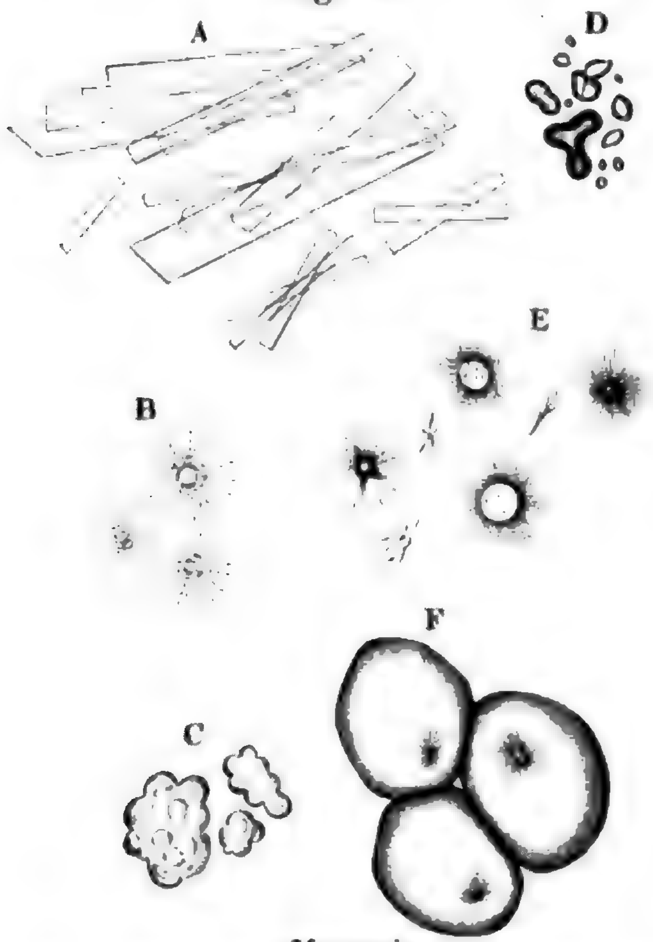
(*C*) ohne krystallinische Structur, zugleich abgeplattet, das Licht wenig brechend und deshalb ohne dunkele Contouren. Verdunstet dann die Flüssigkeit, so bleiben unregelmässige Fetttröpfchen (*D*) zurück.

Krystallisirt das Margarin aus einer ätherischen Solution (*E*), dann sind die sternförmigen Gruppen der Margarinnadeln deutlicher und schärfer begrenzt, als wenn die Ablagerung aus Alkohol erfolgte.

Unter *F* sind die ganz damit übereinstimmenden Krystallgruppen abgebildet, die manchmal in den menschlichen Fettzellen vorkommen, namentlich dann, wenn dieselben eine Zeit lang in Weingeist aufbewahrt wurden.

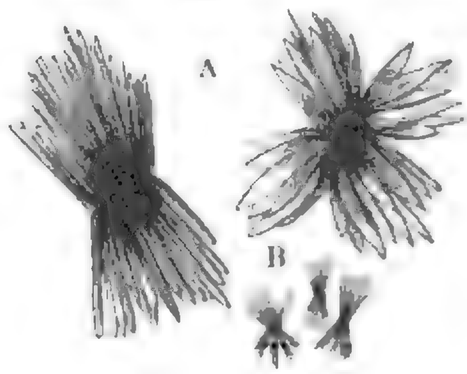
36. Margarinsäure (Fig. 205). Die nadelförmigen Krystalle dieser Säure sind zu klein, als dass sich ihre Form mit Sicherheit bestimmen liesse; wahrscheinlich sind es aber rhombische Prismen. Sie sind

Fig. 204.



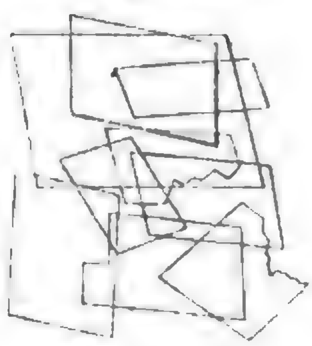
Margarin.

Fig. 205.



Margarinsäure.

Fig. 206.



Cholestearin.

immer zu Bündeln vereinigt, und zwar dergestalt, dass meistens zwei Bündel einander kreuzen, oder dass durch ihr Zusammentreten die ganze Gruppe sanduhrförmig wird.

A sind Krystalle, die sich bei der Bereitung im Grossen durch langsame Ausscheidung gebildet haben.

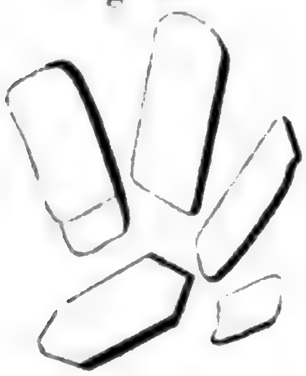
B sind Krystalle, die sich auf einem Objecttäfelchen aus einer siedenden alkoholischen Solution absetzten.

37. Cholestearin (Fig. 206). Die Krystalle dieser Substanz gehören zu jenen, die sich am leichtesten erkennen lassen. Es sind dünne, oftmals sehr grosse rhombische Tafeln mit Ecken von 79° 30′ und 100°

30' (C. Schmidt). Mikrochemisch erkennt man das Cholestearin an der Unlöslichkeit in Wasser, in Säuren und in Alkalien, so wie an der Löslichkeit in Alkohol und Aether. Dabei unterscheidet die Krystallform von den übrigen Fetten.

38. Neurostearin (Fig. 207). Mit diesem Namen will ich eins von den Fetten bezeichnen, die sich aus dem menschlichen Gehirne und Rückenmarke, wenn es einige Tage in schwachem Weingeiste gelegen hat, von selbst absetzen, und zwar in der Form weisser undurchsichtiger rhombischer Prismen *). Von Cholestearinkrystallen, die bekanntlich ebenfalls im Gehirn und Rückenmark gefunden werden, unterscheiden die Winkel von 75° und 105°, verbunden mit der häufigen Abstumpfung der Ecken, wodurch viele eine sechseckige Gestalt bekommen. Auch haben sie selten die Tafelform, welche für die Cholestearinkrystalle charakteristisch ist. Es sind diese Krystalle unlöslich in Wasser, in Salpeter- und Salzsäure. Werden Gehirn und Rückenmark, worin das Neurostearin enthalten ist, mit Aether oder mit heissem Alkohol ausgezogen, so löst sich dasselbe, und beim Erkalten fällt es nun im amorphen Zustande nieder. In gleicher Form präcipitirt es aus einer verdunstenden ätherischen Solution.

Fig. 207.



Neurostearin.

Ich wende mich jetzt zur Betrachtung der wichtigeren Substanzen, 348
die bei mikrochemischen Untersuchungen organischer Körper vorkommen, und deren Anwesenheit durch Zusatz von Reagentien entdeckt werden kann, selbst wenn sie nur in unwägbar kleiner Menge vorhanden sind.

1. Proteïnverbindungen. Das Proteïn in seinen verschiedenen Combinationszuständen lässt sich immer durch concentrirte Salpetersäure nachweisen: es entsteht die durch gelbe Färbung sich auszeichnende Xanthoproteïnsäure, welche Färbung durch Zusatz von Aetzkali oder Ammoniak noch dunkler wird, indem sich xanthoproteïnsaure Alkalien bilden. Die Anwendung dieses durch G. J. Mulder nachgewiesenen Reagens verlangt aber einige Cautelen, deren hier gedacht werden muss.

*) Ich habe diese Krystalle mit meinem Collegen Schroeder van der Kolk mehrfach untersucht. Sie finden sich oftmals in grosser Menge, so dass sie selbst die Untersuchung über Zusammensetzung von Rückenmark und Gehirn erschweren. Durch einen besondern Namen glaubte ich sie um so mehr unterscheiden zu müssen, als aus den einander widersprechenden Untersuchungen von Couërbe und Frémy erhellt, dass die Kenntniss der Gehirnfette den nöthigen Grad von Klarheit und Sicherheit noch nicht erreicht hat. Möglich, dass durch weitere Untersuchungen dargethan wird, mein Neurostearin ist identisch mit Frémy's *Acide cérébrique*. Ausser diesen Krystallen und sogar in noch grösserer Menge als diese, setzen sich aus Gehirn und Rückenmark, die einige Zeit in Weingeist lagen, amorphe, gelblich gefärbte Fettklümpchen ab, die vielleicht aus dem *Acide oléophosphorique* von Frémy bestehen.

Die Salpetersäure eignet sich besonders zum Nachweis von Proteïnverbindungen, die sich im festen Zustande befinden, so z. B. um organische Muskelfasern von anderen Fasern zu unterscheiden, die zu den leimgebenden Geweben gehören, wie etwa die Bindegewebsfasern. Dabei darf man aber nicht vergessen, dass in der Ernährungsflüssigkeit immer Proteïnverbindungen vorkommen und man sich nicht durch die gelbe Färbung irreführen lassen darf, welche durch Salpetersäure in allen thierischen Geweben entsteht, selbst in jenen, deren Elementartheile kein Proteïn enthalten. Auch ist die Xanthoproteïnsäure und besonders deren Salze in Wasser löslich, daher sich die Farbe des einen Theils leicht dem benachbarten mittheilt. Zur Vermeidung von Irrthümern muss daher das zu untersuchende Gewebe wiederholt mit Wasser ausgezogen und womöglich damit geknetet werden, um vorher jegliche Nutritionsflüssigkeit in der Umgebung der Elementartheile zu entfernen. Tritt dann beim Zusatze starker Salpetersäure in den isolirt daliegenden Fasern eine gelbe Färbung hervor, die beim Zusatze von Alkalien noch zunimmt, so ist man sicher, dass Proteïn zu den Bestandtheilen dieser Fasern selbst gehört.

Noch schwerer lässt es sich mit Sicherheit bestimmen, ob die gelbe Färbung, welche dadurch in organischen Zellen entsteht, der Zellenmembran oder dem Zelleninhalte zugeschrieben werden muss, namentlich wenn die erstere sehr dünn ist, wie es in der Regel bei thierischen Zellen der Fall zu sein pflegt. Man muss dann noch zu anderen Reagentien greifen, die alsbald genannt werden sollen. Haben übrigens die Zellenwände eine erhebliche Dicke, wie die der verholzten Pflanzenzellen, dann erkennt man das Vorhandensein von Proteïn leicht auf den Durchschnitten.

Befinden sich Proteïnsubstanzen im gelösten Zustande, dann ist es oftmals nicht möglich, die gelbe Färbung der entstandenen Xanthoproteïnsäure oder selbst ihrer Salze wahrzunehmen, weil dieselben in Wasser löslich sind, so dass die Farbe unmerklich wird, wenn die Auflösung sehr verdünnt ist. In einem solchen Falle muss daher erst das überschüssige Wasser entfernt werden, durch Verdunstung, oder aber durch Coagulation, wenn Eiweiss in der Lösung ist.

Auch erinnere ich hier an die schon oben (§. 286) gegebene Vorschrift, dass man nämlich bei solchen Untersuchungen keine zu starke Vergrösserung anwende, weil eine Grössenverstärkung hier den nämlichen Einfluss übt als eine Verdünnung durch Wasserzusatz.

Ein anderes Reagens, das in vielen Fällen zur Entdeckung von Proteïnverbindungen benutzt werden kann, ist die concentrirte S a l z s ä u r e; dieselbe erzeugt eine schwärzlich-violette Färbung. Nur entsteht diese Färbung nicht auf der Stelle, gleich der gelben Färbung von Salpetersäure, sondern erst nach einem bald kürzeren, bald längeren Zeitraume tritt sie auf; es muss daher der zu untersuchende Körper ein paar Stunden mit der Salzsäure in Berührung sein, am besten in einem mit einem Glastäfelchen bedeckten Glastroge oder in einem Uhrglase. Erwär-

mung fördert die Entfärbung. Diese langsame Einwirkung ist allerdings ein Nachtheil, wodurch dieses Reagens der Salpetersäure nachsteht, andererseits hat aber die Salzsäure wieder den Vorzug, dass sie eine weit dunklere und deshalb auch leichter erkennbare Färbung bewirkt, und so kann sie noch Proteïn da nachweisen, wo Salpetersäure dies nicht mehr vermag. Die Blutkörperchen z. B. zeigen kaum eine Spur von Farbenänderung bei Zusatz von Salpetersäure, werden dagegen in Salzsäure grünlich-schwarz, indem sich die ursprüngliche gelbrothe Farbe mit der schwärzlich-violetten durch das Reagens bedingten vermischt.

Ich muss indessen beifügen, dass in manchen Fällen die Proteïnsubstanzen nur wenig durch Salzsäure gefärbt werden, man also dann zur Annahme eines geringen Proteïngehaltes verführt werden könnte, während dagegen die Reaction von Salpetersäure und Ammoniak eine viel gleichmässigere ist und immer zu der vorhandenen Proteïnmenge im Verhältniss steht.

Uebrigens gelten die nämlichen Cautelen für die Anwendung der Salzsäure, wie für die Salpetersäure, wenn man nicht durch den Proteïngehalt der Ernährungsflüssigkeit irre geleitet werden will.

Es sind auch noch zwei andere Reagentien auf Proteïnsubstanzen empfohlen worden. Zunächst empfahl Millon (*Comptes rendus*, Vol. 28, p. 40) eine Solution von Quecksilber in der gleichen Gewichtsmenge Salpetersäure, die $4^1/_2$ Aequivalente Wasser enthält. Proteïnsubstanzen, mögen sie sich im gelösten oder im festen Zustande befinden, nehmen darin eine rothe Farbe an, namentlich wenn sie auf 60° bis 100° C. erwärmt werden. Nach eigener Erfahrung kann ich das bestätigen. Ich habe aber auch beobachtet, dass die Erwärmung in den meisten Fällen ein nothwendiges Erforderniss ist. Das erschwert nun einigermaassen die Anwendung dieses Prüfungsmittels bei mikrochemischen Untersuchungen, und doch scheint mir dasselbe in der Empfindlichkeit nicht über der Salpetersäure zu stehen.

Ein anderes Reagens, welches von Schultze (Annal. d. Chem. u. Pharm. Bd. 71. S. 266) empfohlen wurde, entspricht diesen Erfordernissen besser. Schultze fand nämlich, wenn er einer Proteïnsubstanz Zuckersolution und hierauf concentrirte Schwefelsäure zusetzte, dass dann eine dunkelrothe Färbung auftrat, ganz so wie es bei der Galle der Fall ist. Er scheint aber nicht gewusst zu haben, dass Raspail (*Nouveau système de Chimie organique*, 1833, p. 289) diese Färbung schon vor vielen Jahren bemerkt und zur Erkennung des Zuckers sowohl als des Eiweisses empfohlen hat. Schultze weist auch auf die ganz gleiche Färbung von elaïnhaltigen Fetten und Oelen hin, sobald Eiweiss und Schwefelsäure damit zusammentreffen; allein auch dieses Factum war Raspail bereits bekannt. Aus dem Angeführten ersieht man schon, dass dieses Reagens nicht zu jenen gehört, auf die man sich mit grosser Sicherheit verlassen kann, zumal wenn man bedenkt, dass es ausser den genannten Substanzen wahrscheinlich noch andere giebt, die

durch eine so heftig wirkende Substanz wie die Schwefelsäure eine gleiche oder wenigstens nahekommende Farbenveränderung erleiden. Vom Salicin z. B. weiss man das schon seit längerer Zeit. Indessen ist dieses Reagens bei mikrochemischen Untersuchungen doch nicht ganz zu verwerfen, namentlich nicht in jenen Fällen, wo die Proteïnmenge unbedeutend ist und die schwächere Färbung der Xanthoproteïnsäure deshalb nur wenig in die Augen fallen würde. Am besten verfährt man, wenn man das Object mit einem Tropfen einer ziemlich starken Zuckersolution anfeuchtet, dasselbe alsdann mit einem Deckgläschen bedeckt und einen Tropfen concentrirte Schwefelsäure an den Rand bringt, die allmälig unter das Deckgläschen dringt.

Bekannt ist es, dass Eiweiss und die anderen im gelösten Zustande vorhandenen Proteïnverbindungen mit den meisten Mineralsäuren und den meisten Metallsalzen Präcipitate bilden. Alle diese Präcipitate sind amorph und wenig geeignet, zur Erkennung des Proteïns bei mikrochemischen Untersuchungen beizutragen. Deshalb übergehe ich hier die Einzelnheiten über die Wirkungsweise dieser Körper und muss den Leser auf die chemischen Hand- und Lehrbücher verweisen.

Es sind aber noch zwei Reagentien hier zu erwähnen, nämlich die Aetzkalisolution und die concentrirte Essigsäure. In beiden lösen sich die Proteïnverbindungen, im Gegensatz zu den Bestandtheilen der leimgebenden Gewebe, welche darin nur aufschwellen und gallertartig werden, während die Fasern des elastischen Gewebes keinerlei Veränderung dadurch erleiden.

Indessen muss man sich hüten, in einem derartigen Falle zu schnell ein Urtheil zu fällen, da die Löslichkeit der verschiedenen Proteïnverbindungen in diesen Reagentien sehr variirt und dieselben manchmal längere Zeit hindurch widerstehen, namentlich der Salpetersäure. Das Aetzkali wendet man am besten in einer starken, nahezu saturirten Solution an. Wenn das zu untersuchende Gewebe ein paar Stunden darin liegt und späterhin dann Wasser zugesetzt wird, so lösen sich alle Proteïnsubstanzen. Auf diese Weise vermag man nicht blos die chemische Beschaffenheit der verschiedenen aus Fasern zusammengesetzten Gewebe zu erkennen, sondern man kann auch vielleicht darüber ins Klare kommen, ob die eben genannte gelbe Färbung, welche an manchen thierischen Zellen durch Salpetersäure auftritt, der Zellenwand oder dem Zelleninhalte zuzuschreiben ist. Werden nämlich die Wandungen solcher Zellen weder durch Essigsäure noch durch Kali gelöst, dann darf man annehmen, dass Proteïn entweder gar nicht oder nur in geringer Menge in ihre Zusammensetzung eingeht.

Meistens lässt es sich nicht durch einzelne mikrochemische Prüfungsmittel feststellen, mit welcher Proteïnverbindung man es zu thun hat. Dies gilt namentlich von allen festen Proteïnsubstanzen: coagulirtes Eiweiss, Faserstoff, *Crusta pleuritica*, die Substanz der quergestreiften und der unwillkürlichen Muskelfasern u. s. w. lassen sich durch keinerlei bestimmte

Reactionen von einander unterscheiden, ungeachtet ihre chemische Zusammensetzung nicht eine ganz identische ist. Unter den gelösten Proteïnsubstanzen erkennt man das Eiweiss an seiner Eigenschaft, durch Wärme zu coaguliren; ist aber Caseïn zugegen, so erzeugt etwas Essigsäure in der enthaltenden Flüssigkeit ein Präcipitat, welches durch Zusatz von mehr Säure sich wieder löst. Oxalsäure, Weinsteinsäure und Phosphorsäure verhalten sich aber eben so.

Es steht übrigens mit ziemlicher Sicherheit zu erwarten, da wir nur erst eine geringe Anzahl von Proteïnverbindungen kennen, dass durch fernere Untersuchungen eine grössere Anzahl derselben bekannt werden wird, die sich durch geringe, aber deshalb nicht weniger wesentliche Modificationen der Zusammensetzung und des Verhaltens zu anderen Substanzen auszeichnen, wodurch die Unterscheidung von den übrigen ermöglicht wird.

2. Amylum. Dieser Körper kommt in einem doppelten Zustande vor, nämlich geformt und amorph. Beide lassen sich leicht erkennen durch Zusatz von Jod, welches in Alkohol gelöst ist, oder welches in einer Jodkaliumsolution einwirkt. Die letztgenannte Anwendungsweise des Jods verdient in vielen Fällen den Vorzug, da sich die alkoholische Tinctur nicht so leicht mit den wässerigen Flüssigkeiten mischt, worin das Amylum vorkommt, als eine Jodkaliumsolution. Die einzige Vorsicht, die man beim Gebrauche dieses Reagens zu nehmen hat, ist die, dass man, wenn die zu untersuchende Substanz alkalisch reagirt, vorher eine verdünnte Säure zusetzt, gleichgültig welche, weil durch die Anwesenheit freien oder kohlensauren Alkalis die Bildung von Jodamylum behindert wird.

Das geformte Amylum kommt unter sehr verschiedenen Gestalten vor, je nach den Pflanzen, von denen es stammt: als unregelmässig länglich rundliche Körperchen mit deutlich concentrischen Schichten, die um einen excentrischen Kern gelagert sind (Amylum aus Kartoffeln), oder als bestimmte runde Körner von verschiedener Grösse und ohne concentrische Schichten (Amylum aus Weizenmehl u. s. w.), oder auch als vieleckige krystallartige Körperchen (Amylum der Cycadeen u. s. w.). Ein geübter Beobachter kann oft schon auf den ersten Blick die Pflanzenart erkennen, von welcher das Amylum kommt, und wer sich auf mikroskopische Untersuchungen legen will, der sollte sich darin die nöthige Fertigkeit erwerben, weil das Amylum zu den am häufigsten vorkommenden Elementen der Nahrungsmittel gehört und seine Körner nicht allein im Inhalte des Magens und der Gedärme, sondern zuweilen auch in den Sputa angetroffen werden.

Formloses Amylum kommt als solches nur selten in den Pflanzen vor; es bildet sich aus dem geformten bald durch Kochen, bald durch die chemische Einwirkung von Säuren oder Alkalien. Natürlicher Weise trifft man es vielfach im Inhalte des Magens und der Gedärme, und hier

wiederum im freien Zustande oder noch in Zellen eingeschlossen, in denen die Körnchen ursprünglich enthalten waren.

3. Cellulose. Sie ist der allgemeinste Bestandtheil der Pflanzenzellenwand, kommt aber auch in manchen thierischen Geweben vor, und lässt sich leicht dadurch erkennen, dass, wenn Jod und Schwefelsäure nach einander einwirken, die Cellulose in Amyloïd umgewandelt wird, welches mit Jod eine ähnliche blaue Verbindung bildet, wie Amylum. (Mulder's phys. Chemie. Braunschweig, S. 431, und Schacht, Annal. d. Pharm. Bd. 47. S. 157.) Die Bildung dieses Amyloïds ist aber wieder an gewisse Bedingungen geknüpft, die verschieden sind, je nachdem sich die Cellulose in der Zellenwandung in einem mehr oder weniger gemischten Zustande befindet. Die Schwefelsäure wandelt nämlich die Cellulose nur dann in Amyloïd um, wenn sie in einem bestimmten Verhältnisse durch Wasser verdünnt ist; ist die Wassermenge zu gering im Verhältniss zum Aggregationszustande, worin sich die Cellulose befindet, so wird die letztere sogleich in Dextrin umgewandelt; ist die Schwefelsäure zu stark mit Wasser verdünnt, so tritt gar keine Veränderung der Cellulose ein. Ausdrücklich darüber angestellte Versuche (Holländ. Beiträge zu den anat. und phys. Wissenschaften I. S. 212) haben mich belehrt, dass die Umwandlung in Amyloïd beginnt, wenn auf 10 Theile Schwefelsäure 6 Theile Wasser kommen, und aufhört, wenn der nämlichen Säuremenge weniger als 2 Theile Wasser zugesetzt sind. Will man daher Untersuchungen über das Vorhandensein von Cellulose anstellen, so ist es gut, wenn man Mischungen von verschiedener Stärke, nämlich 10 Theile Säure mit 6, 5, 4, 3 und 2 Theilen Wasser in Bereitschaft hält, die man eine nach der andern in Anwendung bringt.

Bei einer solchen Prüfung auf Cellulosegehalt muss das Object zuerst mit Jod durchtränkt werden. Am besten dient dazu die saturirte Jodtinctur; doch kann man auch eine Auflösung von Jod in Jodkalium nehmen. Dann lässt man das Object erst trocknen, ehe man die Säure aufgiesst. Hat diese nun die gehörige Stärke, so tritt bei Anwesenheit von Cellulose binnen weniger Minuten die bestimmte Farbenänderung ein: das Gewebe wird rein dunkelblau, wenn nur Cellulose oder ausserdem noch Pectose in den Zellenwänden enthalten ist; es tritt dagegen eine grünliche Färbung auf, wenn noch andere incrustirende Substanzen vorhanden sind, die für sich allein durch Jod und Schwefelsäure braun werden.

Zu gleichem Zwecke kann man auch die von Schultz empfohlene Mischung benutzen, nämlich eine concentrirte Chlorzinksolution, der soviel Jodkalium und Jod zugesetzt wird, als sich darin auflöst. Dadurch färbt sich die Cellulose ebenfalls blau. Schwefelsäure wirkt jedoch sicherer, wenngleich ihre Anwendung etwas umständlicher ist.

Bei diesen Reagentien darf aber nicht vergessen werden, dass ein Nichtauftreten der blauen Färbung noch nicht als positiver Beweis gelten kann, dass keine Cellulose vorhanden ist. Bei sehr dünnen Zellen-

wandungen kann die durch Schwefelsäure oder Chlorzink bewirkte chemische Umwandlung so rasch erfolgen, dass die Zwischenstufe des Amyloïds gar nicht wahrnehmbar ist. Sind dagegen die Zellenwände sehr stark verholzt, dann kann die Reaction ausbleiben, weil die Cellulose durch die anderen in der Zellenwand vorhandenen Substanzen eingehüllt wird. Die letzteren müssen daher zuerst dadurch entfernt werden, dass man die Substanz ein paar Augenblicke in einer Aetzkalisolution kocht. Dadurch wird auch die Cellulose in Amyloïd umgewandelt, und nach stattgefundener Auswaschung des Kalis tritt dann die blaue Färbung hervor, wenn Jodtinctur oder wenn eine Solution von Jod in Jodkalium zugesetzt wird.

Als ein Mittel, welches zur Erkennung der Cellulose und zur Aufklärung mancher Besonderheiten der Pflanzenstructur beitragen kann, ist hier auch die Auflösung des Kupferoxydammoniaks zu nennen. Ed. Schweizer entdeckte, dass die Cellulose darin löslich ist, und C. Cramer benutzte es zuerst als mikrochemisches Reagens (Vierteljahrsschrift d. Züricher naturf. Gesellschaft, Bd. 2 und 3. — Botan. Zeitung 1858, Nr. 9). Nur reine Cellulose löst sich, nach vorgängiger Aufschwellung, ganz darin auf. Sind Cuticularschichten oder inkrustirte Schichten mit der Cellulose verbunden und nur in etwas bedeutender Menge vorhanden, so können diese die Auflösung erschweren, ja wohl ganz verhindern, so dass nur die Aufschwellung eintritt. Werden dieselben aber vorher durch chlorsaures Kali und durch Salpetersäure entfernt, dann löst sich die rückbleibende Cellulose auf. Amylumkörner schwellen darin nur auf und färben sich blau; ihre Auflösung tritt nicht ein. Inulin löst sich ganz darin auf, ohne vorher aufzuquellen. Auch der *Utriculus internus* und die Kernkörperchen sind darin löslich.

4. Zucker. Vielleicht für keinen andern Körper sind so viele Reagentien als Erkennungsmittel anempfohlen worden als für den Zucker. Ich übergehe die Gährung und den Polarisationsapparat, da beide nur bei grösseren Mengen Anwendung finden können, und rede hier nur von jenen, die sich zu mikrochemischen Untersuchungen eignen.

a. Trommer hat zuerst Folgendes nachgewiesen. Wird einer Traubenzuckersolution eine Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyd zugesetzt und weiterhin eine frisch bereitete Aetzkalisolution im Ueberschuss, oder wird umgekehrt einer Flüssigkeit, welche Traubenzucker und Aetzkali enthält, schwefelsaures Kupferoxyd so lange zugesetzt, als sich das entstehende Kupferoxydhydrat wiederum auflöst, so entsteht nach einiger Zeit oder bei Einwirkung höherer Temperatur alsbald ein Präcipitat von rothem Kupferoxydul. Noch besser eignet sich dazu eine Lösung von basisch-essigsaurem Kupferoxyd, die mit einer Solution von Weinsteinsäure oder von doppelt-weinsteinsaurem Kali gemischt ist und der dann noch Aetzkali im Ueberschuss zugesetzt wird. Dieses Präcipitat ist deshalb charakteristisch für Traubenzucker, weil es mit reinem Rohrzucker nicht entsteht, wenn nicht das Kochen, wie van den Broek

(*Scheikundige onderzoekingen gedaan in het Laboratorium der Utrechtsche Hoogeschool* 1846. III, p. 491) nachwies, sehr lange fortgesetzt wird; dann aber, darf man wohl annehmen, hat eine partielle Umwandlung in Traubenzucker stattgefunden. Will man also durch dieses Mittel auch Rohrzucker nachweisen, wenn dieser allein vorhanden ist, wie es bei der Untersuchung vegetabilischer Körper und Gewebe geschehen kann, so muss der Rohrzucker vorher durch Schwefelsäure oder Salzsäure in Traubenzucker umgewandelt werden, wobei man jedoch eingedenk sein muss, dass auch Amylum, Gummi und Cellulose die nämliche Metamorphose erleiden können, wenngleich langsamer.

Bei der Harnruhr erhält man indessen durch diese Methode keine sicheren Resultate über den Zucker im Harne; denn Reich (Simon's Beiträge zur phys. und pathol. Chemie und Mikroskopie 1843. S. 546) wie van den Broek fanden, dass in einem Harne, der keine Spur von Zucker enthält, eine Präcipitation des rothen Kupferoxyduls dessen ungeachtet manchmal stattfindet.

b. Pettenkofer (Annal. d. Chem. u. Pharm. 1844. Bd. 52, S. 90) setzt Ochsengalle allmälig concentrirte Schwefelsäure zu, bis das zuerst entstehende Präcipitat sich wiederum gelöst hat. Bringt man diese Mischung mit einer zuckerhaltigen Flüssigkeit zusammen, gleichviel ob Traubenzucker oder Rohrzucker darin enthalten ist, oder etwa andere Körper, die, gleich Amylum, Gummi u. s. w., durch Schwefelsäure in Zucker umgewandelt werden, so tritt auf der Stelle eine schön violette Färbung auf. Nach Plattner (Hoefle's Chemie und Mikroskopie am Krankenbette. Erlangen, 1848. S. 361) findet diese Reaction um so sicherer statt, wenn zuerst die zuckerhaltige Flüssigkeit mit Galle gemischt und alsdann die Schwefelsäure tropfenweise zugesetzt wird.

Indessen auch diese Probe giebt nicht immer vollkommen richtige Resultate. Zuvörderst haben van den Broek und ebenso Hoefle (l. c. S. 326 u. S. 87 Anm.) angegeben, dass in einer Mischung von Galle und Schwefelsäure, ohne dass Zucker darin vorkommt, doch die nämliche violette Färbung wie bei Gegenwart von Zucker entstehen kann. Der einzige Unterschied ist nur der, dass dann die Färbung erst nach viel längerer Zeit auftritt, während sie bei Anwesenheit von Zucker fast auf der Stelle erscheint. Handelt es sich aber zweitens darum, im Harne Zucker aufzufinden, so kann man sich auf diese Methode noch weniger verlassen, da van den Broek gefunden hat, dass die Harnextractivstoffe mit dem Zucker die Eigenschaft theilen, in einer Mischung von Galle und Schwefelsäure die mehrerwähnte violette Färbung hervorzurufen, wenngleich die Farbenänderung auch in diesem Falle nicht gleich rasch wie mit Zucker zum Vorschein kommt.

Von selbst versteht es sich übrigens, dass dieses Prüfungsmittel bei der Untersuchung vegetabilischer Körper, wo zugleich Amylum, Gummi oder Cellulose mit im Spiele sind, ohne allen Werth ist.

c. Eine dritte Methode ist von Runge angegeben worden. Sie

gründet sich auf die Eigenschaft des Zuckers, dass derselbe, wenn er bei Vorhandensein von Schwefelsäure erwärmt wird, Humussäure bildet und somit schwarz oder dunkelbraun wird. Die nämliche Wirkung übt die Salzsäure aus, welche von Reich (Simon's Beiträge I, S. 546) zu diesem Zwecke empfohlen worden ist. Bei vegetabilischen Körpern kann diese Methode im Ganzen nicht in Betracht kommen. Bei animalischen Flüssigkeiten, namentlich beim Harne, ist sie zwar mit mehr Nutzen anzuwenden und man braucht nur ein paar Tropfen davon in einem kleinen Abdampfschälchen oder einem Uhrgläschen mit einer kleinen Säurequantität zu erwärmen; nur kann man sich auf das Resultat nicht mit voller Gewissheit verlassen, da manchmal, auch wenn kein Zucker vorhanden ist, im Harne eine braune Färbung entsteht, wenn er mit Schwefelsäure gemischt ist und abgedampft wird (van den Broek). Ob so etwas auch bei Anwendung von Salzsäure eintritt, ist noch nicht untersucht.

d. Wird eine Flüssigkeit, die Traubenzucker enthält, mit Aetzkali gekocht, so bildet sich ebenfalls Humussäure und es entsteht eine braune Färbung. Aus diesem Grunde wurde Aetzkali von Moore als Prüfungsmittel auf Traubenzucker empfohlen. Da indessen Zucker nicht der einzige organische Körper ist, der damit diese Färbung erzeugt, ein nichtzuckerhaltiger Harn z. B. bei Behandlung mit Aetzkali manchmal auch braun wird, so sind die Resultate, welche man dadurch erzielt, nichts weniger als gewiss.

Es gewinnt dieses Verfahren an Sicherheit, wenn man nach Heller (Archiv f. phys. u. pathol. Chemie u. Mikroskopie, 1844, Hft. 2. S. 212) der mit Kali gekochten Flüssigkeit Salpetersäure zusetzt; entwickelt sich dadurch ein deutlicher Syrupsgeruch, so darf man das Vorhandensein von Traubenzucker annehmen. Allein nicht selten entwickeln sich ausserdem salpetrige Säure und andere riechende Substanzen, wodurch die Erkennung dieses besondern Geruchs schwierig, wenn nicht geradezu unmöglich gemacht wird.

Es könnten noch andere Methoden aufgeführt werden, z. B. die schon oben (S. 473) genannte von Raspail, wonach man Zucker in Pflanzengeweben durch die rothe Färbung entdecken kann, welche durch ein Gemisch von Eiweiss und Schwefelsäure darin entsteht, deren Unzuverlässigkeit aber schon von Decaisne und Payen (*Comptes rendus*, 1847, Nr. 24, p. 909) dargethan worden ist. Ferner die von Reich (Archiv d. Pharm. 1847. Bd. 50, S. 293) zur Unterscheidung von Rohrzucker und Traubenzucker empfohlenen Methoden. Man soll nämlich mit doppelt-chromsaurem Kali kochen, wo dann durch Rohrzucker grünes Chromoxyd präcipitirt wird; oder man soll die zuckerhaltige, mit Aetzkali versetzte Flüssigkeit kochen und dabei salpetersaures Kobaltoxyd beimischen, wo dann die Rohrzuckerlösung einen violettblauen, die Traubenzuckerlösung einen schmutzig braunen Niederschlag bildet. Sodann die Methode von Maumené (*Comptes rendus*, 1850. Nr. 30. p. 314), dass man nämlich Merinostreifen mit einer Chlorzinnsolution tränkt, trocknet und dann in die

zuckerhaltige Flüssigkeit taucht; diese Streifen bekommen nämlich eine dunkelbraune Farbe bei einer Temperatur von 130° bis 150° C. Endlich auch noch die Methode von Böttger (Jahresb. d. phys. Vereins zu Frankfurt, 1855 bis 1856 u. Journ. f. prakt. Chemie Bd. 70, S. 433), wonach man die zu untersuchende Flüssigkeit in einem Probiergläschen mit dem gleichen Volumen einer Solution von 3 Gewichtstheilen Wasser und 1 Gewichtstheil krystallisirten kohlensauren Natrons versetzt, worauf man noch etwas *Magisterium bismuthi* zufügt und kocht. Zeigt sich an dem zuerst schneeweissen Wismuthnitrate nach dem Kochen nur die geringste schwarze oder graue Färbung, so deutet dies auf Vorhandensein von Traubenzucker. Bei Rohrzucker fehlt diese Reaction, wenn er nicht vorher durch eine Säure in Traubenzucker umgewandelt wurde.

Es ist aber klar, dass mittelst der drei letztgenannten Methoden Zucker sich nicht wohl von anderen Substanzen unterscheiden lässt, die sich, wie Amylum, Inulin, Dextrin, in Zucker umwandeln können. Es sind daher diese Reactionen ebensowenig als die übrigen schon genannten dazu geeignet, bei der Untersuchung von Pflanzengeweben auf einen Zuckergehalt benutzt zu werden.

In der That fehlt uns ein hierzu passendes Prüfungsmittel ganz und gar. Nur dann, wenn eine ziemliche Quantität vegetabilischer Substanz zu Gebote steht, so dass sich der darin etwa enthaltene Zucker durch Alkohol ausziehen lässt, kann man den Rohrzucker an der Krystallform erkennen, wenn man ein Tröpfchen der alkoholischen Lösung auf einem Glasplättchen anschiessen lässt; dieselbe stimmt vollkommen mit jener des Kandiszuckers. Doch ist es mir vorgekommen, als wenn der gelöste Rohrzucker dabei ziemlich rein sein müsste, da Glucose, Farbstoffe u. s. w. die Krystallbildung gar sehr hindern.

Aus dieser Uebersicht der verschiedenen Prüfungsmittel kleiner Zuckermengen ersieht man, dass keins der bis jetzt bekannten ausreichende Sicherheit bietet und dass man diese nur erreichen kann, wenn der Zucker in einem unvermengten Zustande ausgeschieden und dargestellt wird. Ueber das hierbei einzuschlagende Verfahren muss ich aber den Leser auf die chemischen Handbücher verweisen.

5. Oelige und fettige Körper. Bei der mikroskopischen Untersuchung organischer Gewebe und Substanzen trifft man das Fett in dreierlei Formen an:

a. eingeschlossen in besondere dafür bestimmte Bläschen oder Zellen, die je nach der grössern oder geringern Consistenz des Fettes mehr rundlich oder auch vieleckig gestaltet sind;

b. als Krystalle;

c. als tropfenförmige oder mehr unregelmässig gestaltete Massen.

Die allgemeinste Eigenschaft, an der die Fette kenntlich sind, ist die Löslichkeit in Aether. Will man diese Eigenschaft bei der mikrochemischen Untersuchung benutzen, so muss der Körper, worin man Fett vermuthet, vorher getrocknet werden. Dies geschieht am besten auf

einem gewöhnlichen Deckgläschen. Hierauf legt man dasselbe in ein Uhrglas, giesst Aether darauf und bedeckt es mit einem grössern Deckglase, um die Verdunstung zu verhüten.

Hat das Fett eine bestimmte Krystallform, so kann man auch aus dieser seine Natur erkennen, worüber schon oben (S. 467 und 468) für die meisten Fettarten das Nöthige angegeben wurde. Die Abwesenheit des Krystallinischen ist indessen durchaus kein Beweis, dass das eine oder das andre krystallisirbare Fett gänzlich fehlt. So kommt Margarin und Stearin im amorphen Zustande vor, wenn flüssiges Elain zugegen ist. In diesem Zustande kann man aber Fette schon mit ziemlicher Sicherheit erkennen, ohne dass man Aether anzuwenden braucht: einmal, weil die daraus bestehenden Massen und die damit gefüllten Bläschen dunkele Ränder besitzen, in Folge der starken Lichtbrechung, und zweitens, weil sie, in einer Flüssigkeit schwimmend, vermöge des geringen specifischen Gewichts immer an der Oberfläche oder wenigstens nahe dieser sich befinden.

An der Form (Fig. 208) und an anderen Eigenschaften der freien Fettkörperchen kann man ferner mit ziemlicher Sicherheit erkennen, ob sie zum grössern Theile aus flüssigem Fette oder Oele, oder ob sie aus einem festern Fette bestehen. Im erstern Falle haben sie, wenn die sie enthaltende Flüssigkeit sich in Ruhe befindet, die vollkommene Kugelform (*a*), und wird das Object gerückt, so bekommt man die Bilder der tiefer gelegenen Objecte oder jener, deren Bild durch den Spiegel reflectirt wird (§. 275). Schüttelt man die Flüssigkeit, worin sie sich befinden, und bringt man gleich darauf einen Tropfen unters Mikroskop, so überzeugt man sich, dass sie keine Gestaltsveränderung erlitten haben. Bestehen aber die Körperchen aus einem bei gewöhnlicher Temperatur flüssigen Fette, z. B. Elain, welches mit einer gewissen Menge eines andern bei dieser Temperatur festen Fettes, z. B. Margarin, gemischt ist, so werden die früherhin kugelrunden Körperchen oder Tropfen durchs Schütteln länglich (*B*), gehen aber nach einiger Zeit wieder ins Kugelförmige zurück. Wenn endlich die Menge des starren Fettes überwiegt, ohne dass sich aber dieses noch krystallinisch ausgeschieden hat, dann zeigen die Körperchen eine sehr unregelmässige Gestalt (*C*), die sich durch Schütteln nur wenig oder gar nicht verändert.

Fig. 208.



Formen des Fettes.

Amorphe Fettkörperchen lassen sich von anderen, mit denen sie eine oberflächliche Uebereinstimmung zeigen, wie Amylumkörner, amorphe Klümpchen kohlensauren Kalks u. s. w., auch noch durch die Erscheinungen unterscheiden, die beim Zerdrücken zwischen zwei Glastäfelchen auftreten. Fett ist stets weich und breitet sich durch den Druck aus, ohne dass Risse entstehen, und gehört es zu den flüssigen Fettarten, so fliessen die einander sich nähernden Tröpfchen zusammen; andere damit zu ver-

wechselnde Körper widerstehen dem Drucke stärker und ändern ihre Gestalt nicht, oder zerspringen in mehrere Stücke.

Fettkrystalle endlich, wie die des Neurostearins (Fig. 207), die etwa für Krystalle des einen oder des andern alkalischen oder erdigen Salzes, wie sie in Organismen vorkommen, angesehen werden könnten, lassen sich leicht davon unterscheiden, wenn man das Objecttäfelchen, worauf sie sich befinden, etwas erwärmt, wodurch sie schmelzen, formlos werden, eine braune Färbung annehmen und endlich verbrennen.

Was die Fettsäuren betrifft, so sind die Krystallformen der Margarinsäure und der Stearinsäure, an denen diese beiden zumeist kenntlich sind, schon früher (S. 467) beschrieben worden.

6. Aetherische Oele und Harze. Diese kommen blos bei der Untersuchung pflanzlicher Theile vor, und sie können hier zu einer Verwechselung mit fetten Oelen Veranlassung geben, oder das Umgekehrte kann stattfinden. Die ersteren verrathen sich freilich meistens durch einen eigenthümlichen Geruch; in manchen Fällen indessen, z. B. an der Oberfläche mancher Pollenarten, der Malvaceen, der Liliaceen u. s. w., ist das ätherische Oel in zu geringer Menge vorhanden, als dass es dem Geruchsorgane sich kund geben könnte.

Befinden sich Tröpfchen ätherischen Oels in Wasser, so kann man diese unterm Mikroskope leicht von Tröpfchen eines fetten Oels unterscheiden. Sie sind nicht so bestimmt begrenzt, bilden Streifen in der Flüssigkeit und suchen sich an der Oberfläche auszubreiten. An der Oberfläche der Flüssigkeit aber bildet das ätherische Oel eine dünne Schicht, an der man bei auffallendem Lichte ein Irisiren wahrnimmt (S. 354). Die ätherischen Oele lösen sich ferner in Terpentinöl und kaltem Alkohol. Bringt man z. B. Pollenkörnchen in eine dieser beiden Flüssigkeiten, so bemerkt man an diesen kein Abfliessen des Oels, wie beim Anfeuchten mit Wasser.

Harzige Körper, die übrigens in frischen Substanzen immer mit ätherischen Oelen gemischt vorkommen, erkennt man an der nämlichen Löslichkeit in Terpentinöl und kaltem Alkohol, während sie dagegen in Aether, der die fetten Oele immer aufnimmt, oftmals sich nicht lösen.

Dujardin (*Comptes rendus* 1850, Nr. 30, p. 172) hat auf eine Eigenschaft des Wachses aufmerksam gemacht, wodurch man diesen Körper vorkommenden Falls von Harzen zu unterscheiden vermag. Ist das Wachs nämlich geschmolzen, oder hat es sich aus fetten oder ätherischen Oelen abgesetzt, so bildet dasselbe sehr durchsichtige kleine Nadeln, welche das Licht depolarisiren, und dies tritt besonders deutlich hervor, wenn ein dünnes Gypsblättchen daraufgelegt wird. Ich kann dies nur bestätigen, muss aber hinzufügen, dass auch krystallinische Fette und Fettsäuren das Licht depolarisiren, woran man besonders bei Margarin und Margarinsäure zu denken hat, die ebenfalls in kleinen Nadeln krystallisiren.

7. Schleim. Unter der Benennung Pflanzenschleim hat man

ausser dem bestimmter mit diesem Namen belegten Körper nach der Reihe verschiedene Substanzen verstanden: verschiedene Arten Gummi und Dextrin, Pectin, formloses Amylum und Gemische von Proteïnverbindungen, wie sie in jüngeren Zellen vorkommen. Von diesen verschiedenen Körpern lassen sich blos die letzteren und das formlose Amylum mikrochemisch bestimmen. Ein sicheres Erkennen der übrigen genannten Körper ist nur dann möglich, wenn hinreichend grosse Mengen davon abgesondert worden sind.

Was den thierischen Schleim anlangt, so ist das, was man gewöhnlich unter diesem Namen versteht, d. h. das Absonderungsproduct an der Oberfläche der verschiedenen Schleimhäute, ebenfalls ein Körper, der in sehr verschiedenen Modificationen vorkommt, je nach den Organen selbst und nach den besonderen Zuständen, worin sich diese befinden. Niemals indessen ist es eine homogene Substanz, sondern immer ein Gemisch einer Flüssigkeit mit organisirten Theilchen, die im vollkommen gesunden Zustande nichts anderes als die gutgeformten abgestossenen Epithelialzellen der Schleimhaut sind, während in krankhaften Zuständen diese Zellen bei der vermehrten Schleimproduction in viel grösserer Menge gebildet und abgestossen werden und auf einer niedrigern Bildungsstufe verharren; daher man in dem pathologischen Schleime zuletzt nur rundliche Körper sieht, die weder in der Gestalt noch im Verhalten zu Reagentien von Eiterzellen sich unterscheiden, mit denen sie daher auch identificirt werden müssen. Im Schleime sowohl wie im Eiter erscheinen diese Körperchen als Bläschen, deren Hülle zu den Proteïnverbindungen gehört und sich in Essigsäure löst, wodurch dann in jedem Bläschen 1 bis 4 sehr kleine Körperchen oder Körnchen zum Vorschein kommen, die nur schwer zu erkennen waren, bevor die Essigsäure zugesetzt wurde. Uebrigens können in der Grösse dieser Zellen sowohl als in der durchgreifenden Anzahl der Kerne sowie in anderen Hinsichten noch Verschiedenheiten vorkommen, deren ausführliche Mittheilung jedoch nicht hierher gehört.

Aus dem Angegebenen erhellt, dass die Substanz, welche an der Oberfläche kranker Schleimhäute abgeschieden wird, vom wahren Eiter in Betreff der darin vorkommenden organisirten Theile sich nicht unterscheidet; dagegen aber zeigen die Flüssigkeiten, worin diese Theilchen schweben, Verschiedenheiten. In der schleimigen Flüssigkeit ist ein Körper gelöst, den man Schleimstoff (*Mucine*) nennen kann, und der sich im wahren Eiter nicht findet. Dieser Schleimstoff ist mikrochemisch nachweisbar. Zuvörderst mischt er sich nicht gut mit Wasser und er löst sich auch nur wenig darin; bringt man daher Schleim mit Wasser unters Mikroskop, so gelingt es nicht, auch wenn das Deckgläschen hin- und hergeschoben wird, die zähen Theile zum Verschwinden zu bringen und die ganze Mischung dünn und leichtflüssig zu machen. Setzt man dagegen Aetzkali oder Ammoniak zu, so erfolgt diese Auflösung leicht. Vorzüglich aber charakterisirt sich dieser Schleimstoff durch das

Präcipitat, welches organische Säuren, namentlich Essigsäure, Oxalsäure und Weinsteinsäure damit erzeugen; dasselbe erscheint unter dem Mikroskope sehr feinkörnig häutig, mit Falten und Streifen versehen, die man ja nicht für Fasern halten darf. Ein Uebermaass von Säure löst dieses Präcipitat nicht, was zur Unterscheidung von Caseïn dient. Aus seinem Auftreten kann man daher immer mit Sicherheit auf das Vorhandensein von Schleimstoff schliessen, und auch die relative Menge des letztern lässt sich einigermaassen darnach bestimmen.

8. Galle. Man erkennt diese durch den im ganz reinen Zustande noch nicht bekannten färbenden Bestandtheil (*Biliphaein* Gmel., *Cholepyrrhin* Berz.), der die Eigenschaft besitzt, durch Zusatz von Salpetersäure zuerst grün, dann blau und endlich gelblichroth zu werden. Die kleinsten Gallenmengen, welche organischen Substanzen, wie Blut, Harn, Ueberbleibseln von Speisen im Magen und in den Gedärmen u. s. w. beigemischt sind, lassen sich auf diese Weise entdecken. In der Regel ist das Mikroskop dabei überflüssig. Handelt es sich aber z. B. darum, die Natur einer ausgebrochenen Substanz genau zu untersuchen, so ist es gut, wenn man die Reaction unter dem Mikroskope vornimmt, um darüber ins Reine zu kommen, welchen Antheil der Gallenfarbstoff an der allgemeinen Färbung jener Substanz hat; denn es kann dieselbe auch noch andere färbende Bestandtheile enthalten, welche von genossenen Speisen herrühren.

Das Vorhandensein von Galle lässt sich auch nach Pettenkofer an der violettblauen Färbung erkennen, welche durch Zusatz von Zucker und Schwefelsäure entsteht, und wovon schon unter den Mitteln zur Erkennung des Zuckers (S. 302) die Rede war. Es ist aber durchaus noch nicht ausgemacht, dass der Galle allein diese Reaction zukommt. Van den Broek (l. c. p. 511) hat dargethan, dass diese Reaction nicht blos von der sogenannten Choleïnsäure herrührt, wie Pettenkofer annimmt, vielmehr auch mit den meisten anderen Gallenbestandtheilen ebensogut auftritt, und er hat ferner gefunden, dass, wenn Salicin oder vollends das daraus gezogene Saligenin mit Schwefelsäure erwärmt wird, Farben auftreten, welche mit jenen durch Galle bedingten die grösste Uebereinstimmung zeigen.

9. Harnstoff. Eine der interessantesten Aufgaben der Mikrochemie ist das Entdecken von Harnstoff in thierischen Flüssigkeiten, wie Blut, Schweiss, *Humor vitreus*, hydropische Ansammlungen u. s. w., in denen er gewöhnlich gar nicht oder doch nur in höchst geringen Mengen vorkommt. Es ist dabei vor Allem nöthig, die zu untersuchende Flüssigkeit in einem Wasserbade bis zur Trockne abzudampfen und der Rückstand wird dann mit Alkohol digerirt, der neben dem Harnstoffe auch noch einzelne von den vorhandenen Salzen, Zucker, Fette u. s. w. aufnimmt. (Wäre übrigens kein Eiweiss in der Flüssigkeit, so würde das Abdampfen bis zur Trockne und die Ausziehung mit Alkohol nicht nöthig sein, sondern man brauchte nur der zur Syrupsdicke abgedampften

Flüssigkeit ohne Weiteres Salpetersäure zuzusetzen). Hierauf wird die alkoholische Solution abgedampft, und den Rückstand löst man wieder in der möglichst kleinen Menge Wasser zu einer syrupsartigen Flüssigkeit. Davon kommt ein Tropfen auf ein Objecttäfelchen und daneben bringt man einen Tropfen starke Salpetersäure, so dass die beiden Tropfen langsam zusammenfliessen. Eine besondere Vorkehrung zum Verhüten der Wärmeentwickelung und Zersetzung ist bei solchen mikrochemischen Quantitäten nicht erforderlich. Ist nun Harnsäure im Spiele, so entstehen bald Krystalle von salpetersaurem Harnstoffe, von dem schon oben (Fig. 190 S. 463) die Rede war. Wegen der möglichen Verwechselung mit den Krystallen des salpetersauren Natrons verweise ich den Leser auf S. 450.

Um das durch Salpetersäure erlangte Resultat noch mehr zu sichern, kann man einem zweiten Tropfen der syrupsdicken Solution einen Tropfen saturirte Oxalsäure zusetzen; man erhält dann Krystalle von oxalsaurem Harnstoffe (Fig. 191, S. 464). Bei sehr geringen Harnstoffmengen verdient dieses Reagens sogar den Vorzug, weil das oxalsaure Salz sich noch weniger leicht in Wasser löst als das salpetersaure.

Wenn weder in dem einen noch in dem andern Falle durch blosse Vermischung der genannten Reagentien mit der Flüssigkeit Krystalle entstehen, so kann die Schuld daran liegen, dass der Harnstoff in zu kleiner Menge vorhanden ist und das eine wie das andere Salz darin gelöst bleibt. In einem solchen Falle werden sich nach dem Verdunsten der Flüssigkeit noch Krystalle auf dem Objecttäfelchen bilden.

Endlich erinnere ich daran, was ich schon oben (S. 463) über den Einfluss des Harnstoffs auf die Krystallform des Chlornatriums angeführt habe. Wenn sich aus einer Chlornatriumsolution bei langsamer Verdunstung ähnliche Krystalle absetzen, wie die in Fig. 189 abgebildeten, dann darf man mit grosser Wahrscheinlichkeit auf gleichzeitig vorhandenen Harnstoff schliessen. Bestimmte darüber angestellte Untersuchungen haben mich aber belehrt, dass der Harnstoff dabei im Verhältniss zum Chlornatrium in ziemlich grosser Menge vorhanden sein muss. Da nun auch ausserdem, wenn eine Chlornatriumsolution rasch verdunstet, dendritische Bildungen auftreten und darunter auch solche, welche mit den kreuzförmigen Krystallen des Doppelsalzes aus Chlornatrium und Harnstoff grosse Aehnlichkeit haben, so ist es räthlich, dass man sich niemals allein auf dieses den Harnstoff anzeigende Merkmal verlässt.

10. Cystin. Die regelmässigen sechsseitigen Tafeln (Fig. 201 S. 468), aus denen diese Substanz besteht, lassen dieselbe vorkommenden Falls ohne Mühe erkennen, und ausserdem unterscheidet sie auch die Löslichkeit in Mineralsäuren und in Aetzalkalien von anderen Körpern, mit denen die Krystalle eine oberflächliche Aehnlichkeit haben. Uebrigens charakterisirt sich das Cystin auch noch durch die schwarze Färbung, wenn es mit einer Solution von Bleioxyd und Kali gekocht wird,

wobei sich Schwefelblei bildet, desgleichen auch durch den eigenthümlichen Geruch beim Verbrennen.

11. Kreatin. Dieser Körper kommt im ausgedrückten Fleischsafte, im Blute, im Harne vor, gehört aber nicht zu jenen, die sich durch starke Reactionen auszeichnen. Wenn eine kreatinhaltige Flüssigkeit genugsam eingedickt ist, dann tritt das Kreatin krystallinisch aus (Fig. 198), namentlich beim Erkalten der Flüssigkeit, da es 74 Theile kaltes Wasser zur Auflösung bedarf, in kochendem Wasser dagegen weit leichter löslich ist. Die Form dieser Krystalle genügt schon vollständig, das Kreatin vom Harnstoff zu unterscheiden. Auch unterscheidet es sich vom letztern noch durch die fast vollkommene Unlöslichkeit in Alkohol, während es sich dagegen in verdünnten Säuren löst, ohne jedoch Salze damit zu bilden. Auch in Ammoniak und in Barytwasser ist das Kreatin löslich. Diese Merkmale, verbunden mit der Form der Krystalle, sind ausreichend, um schon geringe Kreatinmengen zu erkennen.

12. Kreatinin. Dieses Alkaloïd, welches immer in mehr oder weniger grosser Menge neben dem Kreatin vorzukommen scheint, und durch Behandlung mit einer Säure ebenfalls daraus sich bildet, kann auch nur in den durch Abdampfung eingedickten Flüssigkeiten nachgewiesen werden.

Vom Kreatin unterscheidet es sich nicht blos durch die etwas verschiedene Krystallform (Fig. 199), sondern auch durch die bedeutend grössere Löslichkeit in kaltem Wasser, nämlich schon in 11 Theilen, und durch die viel grössere Löslichkeit in Alkohol, namentlich in kochendem, sowie endlich durch das mit Chlorzink in einer Kreatininsolution entstehende Präcipitat. Dieses Präcipitat ist ein Doppelsalz, welches sich in der Form kleiner nadelförmiger Krystalle ausscheidet, die zu stern- oder besenförmigen Gruppen vereinigt sind.

13. Harnsäure und harnsaure Salze. Freie Harnsäure erkennt man leicht an der Form ihrer Krystalle (Fig. 192), sowie an der eigenthümlichen Reaction gegen Salpetersäure (S. 465). Sie bedarf mehr als 1000 Theile Wasser zur Auflösung. Im Harne ist sie meistens in etwas grösserer Menge vorhanden, weil ihre Löslichkeit durch die vorhandenen phosphorsauren Salze befördert wird. Setzt man Salpeter- oder Salzsäure zu, so präcipitirt die Harnsäure aus dem Harne und zwar gewöhnlich krystallinisch, manchmal aber auch (Heller's Archiv u. s. w., 1844, S. 99), namentlich wenn gleichzeitig Gallenfarbstoff im Spiele ist, als ein amorphes Pulver, dessen Natur dann nicht durch blosse mikroskopische Untersuchung, sondern durch Behandlung mit Salpetersäure festgestellt werden muss.

Die harnsauren Salze von Ammoniak, Natron und Kali, Kalk und Magnesia lösen sich leichter in warmem Wasser als in kaltem. Deshalb schlagen sie sich aus einer Solution beim Erkalten nieder, wofür viele Harnniederschläge als Beispiel dienen können. Von der Form dieser harnsauren Salze ist schon früher (S. 466) die Rede gewesen.

Immer lassen sie sich leicht erkennen, wenn etwas von der zu untersuchenden Substanz auf einem Objecttäfelchen mit einem Tropfen Essigsäure oder Salzsäure gemischt wird, wo sich dann bald Harnsäurekrystalle ausscheiden. Die Basis des Salzes in der Solution lässt sich dann weiterhin durch die geeigneten Reagentien bestimmen.

14. Hippursäure. Wenn Hippursäure in Harn vorkommt, so präcipitirt sie daraus, wenn der zur Syrupsconsistenz abgedampften Flüssigkeit concentrirte Salzsäure zugesetzt wird. Reiner erhält man sie nach Gregory (*Phil. Mag.* 1847. XXXI, p. 127), wenn man den Harn vorher mit Kalkmilch mischt und weiterhin auf die nämliche Art behandelt. Das durch Salzsäure entstandene Präcipitat wird im Wasserbade getrocknet und hierauf mit wasserfreiem Aether digerirt; dieser nimmt die Hippursäure auf, und beim Verdunsten auf einem Objecttäfelchen erscheint die Säure in der in Fig. 195 dargestellten Krystallform. Die Krystalle haben indessen keine so charakteristische Form, dass sie nicht möglicher Weise mit anderen Körpern verwechselt werden könnten. Auch verlangt schon die Zuverlässigkeit, dass die Krystalle noch einer nähern Untersuchung unterworfen werden, und dazu bedarf es, wenn das Mikroskop benutzt wird, nur einer ganz geringen Menge. Namentlich kann leicht eine Verwechselung mit Harnstoff vorkommen, der, wenn er im Präcipitate enthalten ist, auch vom Aether aufgelöst wird, und dessen Krystalle (Fig. 188) manche Uebereinstimmung mit jenen der Hippursäure zeigen. Die letztere ist jedoch weit schwerer löslich in Wasser und bedarf davon 375 Theile, während sich der Harnstoff in gleichen Theilen Wasser löst, aus welcher Lösung sich dann bei Zusatz von Salpetersäure die mehrbeschriebenen Krystalle des salpetersauren Harnstoffs ausscheiden.

Von der Harnsäure unterscheidet sich die Hippursäure durch die Löslichkeit in Aether und Alkohol, durch eine ganz verschiedene Krystallform, und bei Behandlung mit Salpetersäure und Ammoniak zeigt sich nicht jene der Harnsäure eigenthümliche Reaction.

Wird Hippursäure in einem Probiergläschen erhitzt, so sublimirt Benzoësäure (Fig. 196) und benzoësaures Ammoniak mit einer kleinen Menge eines ölartigen Körpers, und es entwickelt sich ein Geruch wie von Tonkabohnen und späterhin von bitterem Mandelöl.

15. Milchsäure. Diese verräth sich in keiner Weise durch starke Reactionen, und deshalb ist es nicht leicht, kleine Mengen davon mit Sicherheit nachzuweisen *). Am meisten ist noch auf die Krystalle von milchsaurem Zinkoxyd (Fig. 197) zu geben. Man erhält dieses Salz dadurch, dass man den alkoholischen Auszug der auf Milchsäure

*) Nach Pelouze hindert die Milchsäure das Präcipitirtwerden der Kupferoxydsalze durch Kalkmilch. Dieses Reagens auf Milchsäure ist aber nur bei grösseren Mengen anwendbar, und dabei nichts weniger als ganz zuverlässig. Siehe Strecker in den Annal. d. Chem. u. Pharm. Bd. 61, S. 316.

untersuchten Substanz abdampft, den Rückstand in Wasser löst, die Lösung mit kohlensaurem Bleioxyd digerirt und dem gelösten milchsauren Bleioxyd schwefelsaures Zinkoxyd zusetzt, wo dann schwefelsaures Blei zu Boden fällt und milchsaures Zinkoxyd gelöst bleibt. Die durch Abdampfung erhaltenen Krystalle des letztern Salzes haben Aehnlichkeit mit jenen des schwefelsauren Zinkoxyds. Sie unterscheiden sich indessen durch die Löslichkeit in Alkohol, und ausserdem erzeugt Chlorbaryum in der wässerigen Solution des schwefelsauren Salzes ein Präcipitat, das sich nicht in Säuren löst. Nach Lehmann (Lehrb. d. phys. Chemie. 2. Aufl. 1850, I, S. 96) lässt sich die Milchsäure auch aus der Form der Krystalle erkennen, die sie mit Kalk und mit Kupferoxyd bildet. Der milchsaure Kalk krystallisirt in kleinen Nadeln, die gleichsam von einem gemeinschaftlichen Mittelpunkte stern- oder besenförmig ausstrahlen. Kommt indessen in der Flüssigkeit, z. B. im Pferdeharne, gleichzeitig Hippursäure vor, so hat man sich vor einer Verwechselung mit hippursaurem Kalke zu hüten, der fast ebenso krystallisirt. Auch mit schwefelsaurem Kalke wäre eine Verwechselung möglich; doch unterscheidet hier die geringe Löslichkeit des letztern in Wasser und Säuren, und die vollständige Unlöslichkeit in Alkohol, worin sich milchsaurer Kalk löst. Milchsaures Kupferoxyd bildet hell bläulich grüne Krystalle, die ziemlich ähnlich gestaltet sind wie jene des milchsauren Zinkoxyds.

Buttersäure, Ameisensäure und Essigsäure unterscheiden sich durch ihre Flüchtigkeit von der Milchsäure; letztere verflüchtigt sich nicht, auch wenn sie erwärmt wird.

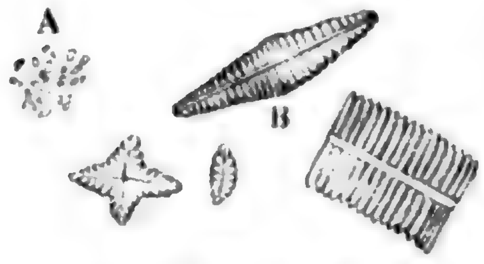
16. Kohlensaure Salze lassen sich bei mikroskopischen Untersuchungen leicht erkennen, indem man eine Säure zusetzt, am liebsten Salpeter- oder Salzsäure, wodurch die Kohlensäure frei wird und in der Form von Luftbläschen entweicht. Da bei mikrochemischen Untersuchungen nur dieses Gas unter solchen Umständen vorkommt, so ist eine Verwechselung nicht wohl möglich. Man kann dadurch die in Wasser löslichen und auch die darin unlöslichen kohlensauren Salze entdecken; nur darf im erstern Falle die Solution nicht allzu verdünnt sein, weil sonst die Flüssigkeit die freiwerdende Kohlensäure zurückhält. Was die unlöslichen kohlensauren Salze, namentlich von Kalk und Magnesia, betrifft, von denen namentlich der kohlensaure Kalk so allgemein zu den Bestandtheilen der festeren organischen Gewebe gehört, so hat man oftmals angenommen, der eigentliche Sitz des Salzes sei da, wo sich die Luftbläschen entwickeln. Dies gilt aber nicht für alle Fälle. Die genauere Beobachtung lehrt, dass bei Knochen, Zähnen, Korallen u. s. w. die Gasentwickelung vorzugsweise an den vorragenden Punkten stattfindet, ohne dass jedoch der kohlensaure Kalk an diesen Punkten in grösster Menge angehäuft zu sein braucht.

Ich will auch noch darauf aufmerksam machen, dass die kohlensauren Salze in der Asche organischer Substanzen sehr oft von der Verbren-

nung von Salzen herrühren, deren Basis ursprünglich mit einer durch die Hitze zersetzten organischen Säure verbunden war.

17. Schwefelsaure Salze. Die gebräuchlichsten nicht nur, sondern auch die empfindlichsten Reagentien für die in Solution befindlichen schwefelsauren Salze sind Chlorbaryum, oder nach Umständen salpetersaurer Baryt. Der gefällte schwefelsaure Baryt (Fig. 209) ist weiss und unlöslich in Salzsäure. Erfolgt die Vermischung rasch, so besteht der Niederschlag aus unzusammenhängenden Körnchen (*A*), die zu klein sind, als dass sich ihre Gestalt näher bestimmen liesse. Werden aber die beiden Flüssigkeiten sehr langsam miteinander gemischt, so entstehen grössere krystallinische Körperchen (*B*).

Fig. 209.



Schwefelsaurer Baryt.

In den Fällen, wo keine organischen Bestandtheile in dem zu untersuchenden Körper vorkommen, wenn z. B. die Asche verbrannter organischer Theile geprüft werden soll, spricht das durch ein Barytsalz entstandene, in Salzsäure unlösliche Präcipitat mit Sicherheit für vorhandene Schwefelsäure. In Flüssigkeiten indessen, welche organische Substanzen enthalten, entsteht manchmal ein derartiges Präcipitat, ohne dass man es auf Rechnung eines schwefelsauren Salzes bringen kann. Ist man nun zweifelhaft, so muss man entweder seine Zuflucht zu der erwähnten langsamen Präcipitation nehmen, bei der sich jene leicht erkennbaren Krystalle bilden, oder noch besser ist es, man wählt als Reagens ein lösliches Kalksalz (Chlorcalcium, salpetersaurer Kalk), wodurch, auch bei raschem Zusatz, immer ein krystallinisches Präcipitat (Fig. 181) entsteht, aus dessen Gestaltung man einen sichern Schluss ziehen darf. Nur vergesse man nicht, dass der schwefelsaure Kalk weit löslicher in Wasser ist als der schwefelsaure Baryt, und deshalb durch Kalksalze in sehr verdünnten Solutionen kein Präcipitat entsteht. Lässt man aber nachher einen Tropfen der Flüssigkeit auf einem Objecttäfelchen verdunsten, wozu wegen der Deliquescenz der löslichen Kalksalze Erwärmung erforderlich ist, so kommen die Gypskrystalle zum Vorschein.

18. Chlorwasserstoffsäure und Chlorsalze. Auf beide weist das weisse, am Lichte sich schwarz färbende Präcipitat hin, welches in einer wässerigen Solution durch salpetersaures Silber entsteht. Dieses Präcipitat ist löslich in Ammoniak, aber unlöslich in Salpetersäure; es besteht aus kleinen, zu Flocken vereinigten, ganz undurchsichtigen und deshalb bei durchfallendem Lichte schwarz erscheinenden Körperchen.

Dieses Reagens ist auch nur so lange ganz zuverlässig, als sich keine organischen Substanzen gleichzeitig in der Flüssigkeit befinden, da manche von diesen mit salpetersaurem Silber ganz ähnliche Präcipitate geben, die nur nicht ganz so undurchsichtig sind, wenn man sie bei durchfallendem Lichte durchs Mikroskop betrachtet. Die gewöhnlichsten

Chlorverbindungen, die hier in Betracht kommen, nämlich Chlornatrium, Chlorkalium und Chlorammonium, lassen sich in einem solchen Falle mit grösserer Sicherheit erkennen, wenn man einen Tropfen der Flüssigkeit verdunsten lässt und den Rückstand mikroskopisch untersucht, da die Krystalle dieser Salze (Fig. 169. 170. 173.) sich sehr leicht von allen anderen unterscheiden lassen. Chlorcalcium und Chlormagnesium lassen sich nicht auf diesem Wege nachweisen; sie kommen aber nicht leicht anders vor, als in Körpern, die man verbrennen und deren Asche man untersuchen kann, indem man sie mit Wasser auszieht.

19. Phosphorsaure Salze. Unter den in organischen Körpern vorkommenden phosphorsauren Salzen giebt es einige, namentlich die Kali-, Natron- und Ammoniaksalze, die sich in Wasser sehr leicht lösen, während andere sich gar nicht in Wasser lösen, dafür aber in verdünnter Salpeter- und Salzsäure leicht löslich sind, namentlich der phosphorsaure Kalk und die phosphorsaure Ammoniakmagnesia. Phosphorsaure Magnesia löst sich zwar in Wasser, bedarf aber dazu 25 Theile, also mehr als die phosphorsauren Alkalien.

Von den drei isomeren Formen, in denen die Phosphorsäure vorkommen kann, trifft man bei organisch-chemischen Untersuchungen nur zwei an, nämlich die tribasische (gewöhnliche Phosphorsäure, c Phosphorsäure) und die bibasische (Pyrophosphorsäure, b Phosphorsäure). Um das Vorkommen einer dieser beiden Formen in einer neutralen wässerigen Flüssigkeit zu entdecken, benutzt man die salpetersaure Silbersolution. Diese giebt mit der erstgenannten ein gelbes Präcipitat, dessen Färbung auch bei 50maliger Vergrösserung noch gut zu erkennen ist, während das von Salzen mit bibasischer Säure kommende Präcipitat ganz weiss ist. Das gelbe wie das weisse Präcipitat lösen sich in Ammoniak und in Salpetersäure, und dadurch unterscheiden sie sich von jenen mit Chlorsalzen entstandenen. Auch liefern die phosphorsauren Salze mit essigsaurem Eisenoxyd ein in Ammoniak lösliches Präcipitat, wie es bei Chlorsalzen nicht vorkommt.

Da aber Metallsalze mit verschiedenen anderen organischen Substanzen, indifferenten Körpern sowohl als Säuren, Präcipitate bilden, so kann man sich nicht immer auf die dadurch erhaltenen Resultate verlassen, es müsste denn die Asche untersucht werden, in welchem Falle die tribasische Phosphorsäure sich stets in bibasische umgewandelt hat. In solchen Fällen ist es gerathener, man setzt der Flüssigkeit eine Solution von schwefelsaurer Magnesia zu, und weiterhin Ammoniak oder kohlensaures Ammoniak. Ist ein bibasisches phosphorsaures Salz vorhanden, so entsteht ein Präcipitat mit dendritischen Krystallen, die man leicht an der eigenthümlichen Formation (Fig. 187) erkennt.

Unter den in Wasser nicht löslichen phosphorsauren Salzen unterscheidet sich das Doppelsalz aus Magnesia und Ammoniak, welches in thierischen Substanzen so häufig vorkommt, durch die eigenthümliche Form seiner Krystalle (Fig. 186). Uebrigens wird nicht blos diese Ver-

bindung, sondern auch der phosphorsaure Kalk und die phosphorsaure Magnesia werden aus ihren sauren Solutionen durch Ammoniak präcipitirt und lassen sich dann bisweilen an der Krystallform (S. 461 und 462) erkennen. Ist dies nicht der Fall, so weist das durch Ammoniak entstandene Präcipitat nur in dem Falle mit Sicherheit auf Erdphosphate hin, wenn die organischen Säuren, unter denen sich auch solche befinden, deren Kalk- und Magnesiasalze durch Ammoniak präcipitirt werden, vorher durch Verbrennung in Kohlensäure umgewandelt wurden.

20. Ammoniaksalze. Diese Salze werden am besten durch die mikroskopische Untersuchung des auf einem Objecttäfelchen nach der Verdunstung bleibenden Rückstandes nachgewiesen, da die meisten durch leicht kenntliche Krystallformen sich auszeichnen, wie sie Fig. 173 bis 176 dargestellt sind. Bei chemischen Untersuchungen ohne Hülfe des Mikroskops läuft man leicht Gefahr, das Vorhandensein von Ammoniak zu übersehen, zumal wenn man sich auf die Untersuchung der durchs Verbrennen erhaltenen Asche beschränkt; denn wegen der Flüchtigkeit aller Ammoniaksalze ist in der Asche keine Spur derselben mehr zu finden.

Die Verflüchtigung durch Erwärmen zählt mit zu den sicheren Merkmalen, woraus man schliessen kann, dass Krystalle, welche nach dem Verdunsten einer Flüssigkeit auf einem Glasplättchen zurückgeblieben waren, einem Ammoniaksalze angehörten. Dabei darf man aber nicht vergessen, dass diese Verflüchtigung durch vorhandene organische Substanzen, namentlich wenn Eiweiss auf dem Glastäfelchen mit eingetrocknet ist, gar sehr behindert wird, so dass das Ammoniaksalz erst bei einer Hitze verschwindet, bei welcher die organische Substanz verkohlt und zu Asche verbrennt, während dagegen das aus einer blossen wässerigen Solution zurückbleibende Salz schon bei einer weit niedrigern Temperatur verfliegt.

Ammoniak in amorphen organischen Salzen, z. B. in harnsaurem Ammoniak, lässt sich erkennen, wenn man etwas Salzsäure zusetzt; in der verdunstenden Flüssigkeit werden sich dann Krystalle von Chlorammonium (Fig. 173) bilden Nur muss man sich vorher vergewissern, dass die Salzsäure nicht schon Chlorammonium enthält, da man dieses Salz meistens in mehr oder weniger grosser Menge in solcher Salzsäure antrifft, die mit der Luft in Berührung war.

21. Kalisalze erkennt man an dem gelben Präcipitate, welches durch eine alkoholische Solution von Platinchlorid entsteht. Dieses Präcipitat ist aber amorph, und da durch das Platin auch verschiedene organische Substanzen sowie Ammoniaksalze präcipitirt werden, so ist durch dasselbe das Kali nur in der Asche, welche beim Verbrennen organischer Körper zurückbleibt, mit Sicherheit zu erkennen.

Zur mikroskopischen Untersuchung verdient daher Weinsteinsäure den Vorzug. Wird dieselbe einer nicht allzu schwachen Kali-

salzsolution im Uebermaass zugesetzt, so bildet sich ein krystallinisches Präcipitat (Fig. 178), dessen Krystalle sich, zumal wenn sie durch langsame Vermischung entstanden, mit den Krystallen des in Wasser ebenfalls nur wenig löslichen weinsteinsauren Ammoniaks schwerlich verwechseln lassen. Die übrigen schwer löslichen weinsteinsauren Salze sind aber amorph. Dies gilt auch vom weinsteinsauren Kalke, jenen ausgenommen, welcher entsteht, wenn Weinsteinsäure Kalkwasser zugesetzt wird; denn dann erhält man einen krystallinischen weinsteinsauren Kalk. Die Krystalle sind Rhombenoctaëder, die zum Theil zu rhombischen Prismen ausgewachsen sind, mit mehrfachen Abstumpfungen der Kanten und Ecken. Bei einiger Uebung fällt es aber nicht schwer, sie von den Krystallen des weinsteinsauren Kalis zu unterscheiden.

22. Natronsalze. Das beste Reagens auf Natron ist die Kieselfluorwasserstoffsäure, welche damit das wenig lösliche Fluorkieselnatrium bildet, dessen Krystalle (Fig. 171) so eigenthümlich gestaltet sind, dass man das Vorhandensein auch der geringsten Natronmenge mit grosser Sicherheit dadurch zu erkennen im Stande ist. Da aber diese Verbindung in Wasser nicht ganz unlöslich ist, so kommen in sehr verdünnten Natronsolutionen, wie z. B. der Harn ist, die Krystalle erst dann zum Vorschein, wenn der auf dem Objecttäfelchen befindliche Tropfen zu verdunsten angefangen hat.

Mit Ammoniak-, Kali-, Kalk- und Magnesiasalzen bildet die Kieselfluorwasserstoffsäure keine Niederschläge; die Barytsalze aber, die bei organisch-chemischen Untersuchungen nicht in Betracht kommen, geben ein ganz anders geformtes krystallinisches Präcipitat, das in Fig. 210 dargestellt ist.

Fig. 210.



Fluorkieselbaryum.

Ein anderes Prüfungsmittel auf Natron ist das antimonsaure Kali, zuerst von Frémy und später von Wackenroder (Archiv der Pharm. 1843. Bd. 34, S. 263) empfohlen. Die dadurch sich bildenden Krystalle von bimetaantimonsaurem Natron (Fig. 172, S. 452) sind auch ziemlich leicht zu erkennen, wenngleich sie wegen der wechselnden Gestaltung nicht so charakteristisch sind als jene des Fluorkieselnatriums. Sind kohlensaures Kali und kohlensaures Natron gleichzeitig, und zwar ersteres in grossem Ueberschuss vorhanden, so scheidet sich dieses Präcipitat nicht aus. Das nämliche Reagens erzeugt in Solutionen von Ammoniak-, Baryt- und Kalksalzen nur amorphe Präcipitate. Dagegen entsteht mit Magnesiasalzen ein krystallinisches Präcipitat, aus kurzen schiefen rhombischen Prismen bestehend, die also von jenen mit Natronsalzen entstehenden wohl verschieden sind, bei einer nicht ganz genauen Betrachtung aber leicht dafür gehalten werden könnten.

23. Kalksalze. Die löslichen Kalksalze bilden mit Oxalsäure, mit oxalsaurem Ammoniak, mit saurem oxalsauren Kali ein

Präcipitat von oxalsaurem Kalke, das sich in Salz- und Salpetersäure löst, nicht aber in Essigsäure und Ammoniak. Durch die beiden erstgenannten entsteht ein amorphes Präcipitat; das Präcipitat dagegen, welches durch die Solution des sauren oxalsauren Kalis hervorgebracht wird, besteht aus kleinen, meistens octaëdrischen Krystallen (Fig. 183 *J*). Das saure oxalsaure Kali verdient demnach zur mikrochemischen Prüfung den Vorzug.

Ein gutes Reagens auf Kalk besitzen wir ferner in der verdünnten Schwefelsäure; die Nachweisung des Kalks gelingt hier auch, wenn phosphorsaurer Kalk in Salz- oder Salpetersäure gelöst ist, weil der hierbei entstehende schwefelsaure Kalk in diesen Säuren sich nicht besser löst als im Wasser. Auch sind die Gypskrystalle (Fig. 181) immer auffallend grösser als jene des oxalsauren Kalkes, und lassen sich unter dem Mikroskope mit grösserer Sicherheit erkennen. Nur sei man eingedenk, dass, wenn sich nur wenig Kalk in der Auflösung befindet, die Krystalle erst beim Verdunsten zum Vorschein kommen. Man darf ferner keine concentrirte Schwefelsäure nehmen, weil diese zuerst ein amorphes häutiges Präcipitat giebt, dem erst weiterhin ein krystallinisches nachfolgt. Man kann auch eine Lösung von schwefelsaurem Natron oder von schwefelsaurer Magnesia nehmen, und diese verdienen sogar den Vorzug, wenn organische Substanzen zugegen sind.

Im kohlensauren Kalke oder in Substanzen, welche denselben enthalten, lässt sich der Kalk nachweisen, wenn man den kohlensauren Kalk zuerst in salpetersauren Kalk oder in Chlorcalcium umwandelt, und dann der neutralen Flüssigkeit saures oxalsaures Kali, oder bei einem Uebermaass von Säure Schwefelsäure zusetzt. Oftmals ist aber die Umsetzung in diese löslichen Kalksalze unnöthig, wenn die Reaction im Felde des Mikroskops vor sich geht. Sind die Körperchen, welche aus kohlensaurem Kalke bestehen oder diesen in reichlicher Menge enthalten, klein, dann verwandeln sie sich durch Zusatz verdünnter Schwefelsäure ganz oder zum Theil in Krystalle von schwefelsaurem Kalke. Sind sie grösser, so bedecken sie sich ganz mit dergleichen Krystallen, die sich dann aber auch noch leicht erkennen lassen. Namentlich tritt auch die Reaction ein, wenn Aschen und Bodenarten auf kohlensauren Kalk untersucht werden.

24. Magnesiasalze. Die neutralen, in Wasser löslichen Magnesiasalze werden durch Ammoniak präcipitirt; der Niederschlag ist häutig und ganz löslich in einer Chlorammoniumsolution. Da das letztere Salz in organischen Flüssigkeiten sehr häufig vorkommt, so hindert es die Präcipitation der Magnesia durch Ammoniak; deshalb ist es blos dann anwendbar, wenn die in Wasser löslichen Magnesiasalze in der Asche aufgefunden werden sollen.

Ein zuverlässigeres Reagens ist das phosphorsaure Natron, wodurch in concentrirteren Solutionen zuerst ein amorphes und späterhin ein krystallinisches Präcipitat (Fig. 184) entsteht. In verdünnten Solu-

tionen entsteht durch phosphorsaures Natron allein kein Niederschlag. Wird aber Ammoniak zugesetzt oder die Solution des bibasischen phosphorsauren Ammoniaks mit überschüssigem Ammoniak versetzt, so erkennt man die Magnesia noch daran, dass Krystalle von bibasischer phosphorsaurer Ammoniak-Magnesia (Fig. 185) entstehen. Ist phosphorsaure Magnesia bereits als solche in einer Flüssigkeit enthalten, dann bildet sich das genannte Doppelsalz schon bei blossem Zusatz von Ammoniak, wie es beim Harne vorkommt, aus dem sich Krystalle von bibasischer phosphorsaurer Ammoniakbittererde dadurch niederschlagen.

25. Eisen. Bei der chemischen Untersuchung organischer Substanzen lässt sich das Vorhandensein dieses Metalls meistens nur in deren Asche nachweisen. Die Asche wird nämlich mit Salzsäure ausgezogen, worin sich das vorhandene Oxydul oder Oxyd löst.

In dieser Solution erkennt man Eisenoxydul durch das Entstehen eines blauen Niederschlags beim Zusatze von Kaliumeisencyanür. Entsteht dadurch kein Niederschlag, bildet sich aber ein ebenfalls blauer Niederschlag durch Kaliumeisencyanid, dann ist Eisenoxyd vorhanden. Die beiderlei Niederschläge bestehen, wenn sie aus etwas concentrirten Solutionen von Eisensalzen kommen, aus häutigen Massen mit starken Faltungen; waren es dagegen ganz schwache Solutionen, so sind die häutigen Läppchen ganz dünn, so dass ihre Ränder kaum sichtbar sind und nur die Färbung zur Entscheidung dient.

Ein ebenfalls sehr empfindliches Reagens auf Eisenoxydsalze ist eine Auflösung von Schwefelcyankalium; sie färben sich dadurch dunkelroth. Nur darf die Solution nicht zu viel überschüssige Säure enthalten, weil sonst eine gelbliche Färbung entsteht.

Galläpfeltinctur eignet sich weniger zur mikrochemischen Reaction auf Eisen: einmal nämlich entsteht mit Eisenoxydsalzen nur dann ein schwarzer Niederschlag, wenn diese ganz neutral sind, und zweitens besteht derselbe aus sehr kleinen Molekeln, deren Farbe durchs Mikroskop, wenigstens bei durchfallendem Lichte, schwer zu erkennen ist. Auch sind die anderen angegebenen Reagentien mehr als ausreichend, um die geringsten Spuren von Eisen mit Sicherheit zu erkennen.

In organischen Fossilien kommt das Eisen nicht selten als Pyrit oder Eisenkies vor, und zwar in Formen, in denen es sehr schwer zu erkennen ist. Man kann es dann an der Eigenschaft entdecken, dass der Pyrit in Salpetersäure sowohl wie in Salzsäure unlöslich ist, sich dagegen in kochendem Königswasser löst, worauf sich dann in dieser Solution das Eisen und die Schwefelsäure durch die gewöhnlichen Reagentien auffinden lassen. Siehe meine Beschreibung des Bodens unter Amsterdam in den *Verh. der eerste Klasse v. h. Kon. Nederl. Instit.* 1852 und meine *Description d'un diamant remarquable* in den Werken der Königl. Niederl. Academie von 1858.

Die übrigen Metalle kommen bei organisch-chemischen Untersuchun-

gen zu selten vor, als dass es nöthig wäre, hier ihre Reagentien zu beschreiben.

Bei der mikrochemischen Untersuchung thierischer Flüssigkeiten hat 349
man nicht blos auf die eigentlich chemischen Bestandtheile zu achten; es kommen auch gleichzeitig organisirte darin enthaltene Körperchen zur Beobachtung, deren Bestimmung oftmals, zumal bei pathologischen Zuständen, gleich wichtig ist als die Ermittelung der chemischen Zusammensetzung.

Die folgende Tafel kann als Muster dienen, wie man von diesem Gesichtspunkte aus eine derartige Untersuchung auszuführen hat. Ich habe den Harn dazu gewählt, weil in ihm, im normalen wie im pathologischen Zustande, bei weitem die grösste Menge jener Bestandtheile vorkommen kann, die man auch anderwärts findet. Wie gross auch die Anzahl dieser möglichen Bestandtheile sein mag, eine Unze Harn oder selbst noch weniger ist vollkommen ausreichend, um mit Hülfe des Mikroskops, einiger Objecttäfelchen, Uhrgläser, Probirgläschen und mit einer kleinen Zahl von Reagentien alle jene Bestandtheile darin zu entdecken. Jeder Arzt kann ohne viele Mühe mehrere kleine Gläser bei sich führen, um den Harn oder auch andere Flüssigkeiten von eben so vielen Kranken darin aufzunehmen, die er dann zu Hause auf seinem Zimmer einer qualitativen Untersuchung unterwirft. Der Anfänger wird natürlich auf eine solche Untersuchung ziemlich viel Zeit verwenden müssen, bevor er zu befriedigenden Resultaten gelangt; er wird aber auch finden, dass man durch einige Uebung sich bald eine grosse Fertigkeit in dergleichen Untersuchungen zu eigen machen kann, wo sie dann verhältnissmässig wenig Zeit kosten.

Mikrochemische qualitative Untersuchung der Harnbestandtheile im gesunden und pathologischen Zustande.

				Nachgewiesene Substanzen.
A. Ueberstehende Flüssigkeit.	Klarer Theil der Flüssigkeit.	Beim Verdunsten eines Tropfens auf einem Objecttäfelchen bleiben übrig:	Krystalle wie Fig. 169. S. 451	Chlornatrium.
			» » Fig. 173. S. 453	Chlorammonium.
			» » Fig. 175. S. 454	Phosphorsaures Ammoniak.
			» » Fig. 176. S 454.	Phosphorsaures Ammoniaknatron.
		Es bilden sich durch Zusatz von	Kieselfluorwasserstoffsäure: Krystalle wie Fig. 171. S. 451	Natron.
			saurem oxalsauren Kali: Krystalle wie Fig. 183. S. 459	Kalk.
			Ammoniak: Krystalle wie Fig. 186. S. 461 . .	Phosphorsaure Magnesia.
			Salzsäure: » » Fig. 188. S. 463 . .	Harnsäure.
		In der zur Syrupsdicke abgedampften Flüssigkeit entstehen: beim Erkalten	Krystalle wie Fig. 198. S. 467, unlöslich in Alkohol . . .	Kreatin.
			Krystalle wie Fig. 199. S. 468, löslich in Alkohol	Kreatinin.
		In der zur Syrupsdicke abgedampften Flüssigkeit entstehen: durch Zusatz von . . .	Salpetersäure: Krystalle wie Fig. 190 . . . . Oxalsäure wie Fig. 191 . .	Harnstoff.
			Salzsäure, Lösung des Präcipitats in Aether und Abdampfung: Krystalle wie Fig. 195	Hippursäure.
		In der Flüssigkeit entsteht durch Kochen ein Coagulum, durch Salpetersäure ein Niederschlag, beide löslich in Aetzkali, und durch concentrirte Salpetersäure und Ammoniak sich gelb färbend		Eiweiss.
		Salpetersäure erzeugt der Reihe nach eine grüne, blaue und rothe Färbung		Gallenfarbstoff.
		Wird eine kleine Menge der Flüssigkeit mit etwas essigsaurem Kupferoxyd erhitzt unter Zufügung von Weinsteinsäure und einem Uebermaass von Aetzkali, so entsteht ein rother Niederschlag von Kupferoxydul		Zucker (?).
		Die zur Trockne abgedampfte Flüssigkeit wird mit Alkohol ausgezogen, die alkoholische Solution abgedampft, der Rückstand in Wasser gelöst und mit kohlensaurem Bleioxyd digerirt. Wird dem klaren Theile der Flüssigkeit schwefelsaures Zinkoxyd zugesetzt, so bilden sich beim Verdunsten auf dem Objecttäfelchen Krystalle wie Fig. 197. S. 467 . .		Milchsäure.
	Körperchen in der Flüssigkeit.	Kugelrunde, das Licht stark brechende Tropfen, die sich an der Oberfläche der Flüssigkeit sammeln und sich nach deren Verdunstung in Aether lösen		Fett.
		Scheibenförmige, flach eingedrückte, bei durchfallendem Lichte gelblich gefärbte, oder mehr kugelförmige und dann sehr durchsichtige ungefärbte Körperchen, von 6 bis 8 Mikromillimeter Durchmesser, durch Essigsäure spurlos verschwindend		Blut.

Nachgewiesene Substanzen.

- **B. Niederschlag.**
  - **Amorphe Bestandtheile.**
    - Beim Erwärmen der Flüssigkeit sich wieder lösend, und nach Zusatz von Essigsäure oder Salzsäure, Krystalle wie Fig. 192 zeigend.
      - Nach Behandlung mit Salzsäure und Verdunstung auf einem Objecttäfelchen:
        - Krystalle wie Fig. 173 . . . . . → Harns. Ammoniak.
        - Krystalle wie Fig. 169 — Kieselfluorwasserstoffsäure erzeugt in der wässerigen Solution:
          - Krystalle wie F. 171. → Harnsaures Natron
          - Amorphes Präcipitat, aber mit Weinsteinsäure Krystalle wie Fig. 178. → Harnsaures Kali.
      - Der in Essigsäure lösliche Theil giebt, nach vorgängiger Abdampfung und Wiederauflösung in Wasser, mit saurem oxalsauren Kali:
        - einen Niederschlag von Krystallen wie Fig. 183 . . . . → Harnsaurer Kalk.
        - keinen Niederschlag, aber mit phosphorsaurem Natron und Ammoniak einen Niederschlag von Krystallen wie Fig. 187 . . . . . → Harnsaure Magnesia.
    - Durch Behandlung mit Essigsäure:
      - Löslich. In der Solution entstehen durch verdünnte Schwefelsäure Krystalle wie Fig. 181. Die Auflösung erfolgt aber:
        - unter Aufbrausen. . → Kohlensaurer Kalk.
        - ohne Aufbrausen. . → Phosphors. Kalk.
      - Unlöslich:
        - Unlöslich in Salzsäure, färbt sich roth, wenn er erwärmt und mit Salpetersäure und Ammoniak versetzt wird → Harnsäure.
        - Löslich in Salzsäure . . . . → Oxalsaurer Kalk.
  - **Krystalle.**
    - wie Fig. 186, löslich in Essigsäure, Salzsäure und Salpetersäure, unlöslich in Ammoniak . . . . → Phosphorsaure Ammoniakmagnesia.
    - wie Fig. 183 I, M, L; unlöslich in Essigsäure, löslich in Salzsäure und Salpetersäure . . . . → Oxalsaurer Kalk.
    - wie Fig. 192, unlöslich in Salz- und Salpetersäure, beim Erhitzen mit Salpetersäure und Ammoniak sich röthend . . → Harnsäure.
    - wie Fig. 201, löslich in Salzsäure und Ammoniak, durch Kochen mit einer Solution von Bleioxyd und Kali sich schwärzend → Cystin.
  - **Organisirte Bestandtheile.**
    - Scheibenförmige, schwach eingedrückte, bei durchfallendem Lichte hellgelb gefärbte, oder mehr kugelförmige blassere Körperchen, manchmal mit eingekerbten Rändern, von 6 bis 8 Mikromillimeter Durchmesser, durch Essigsäure verschwindend . . . . → Blutkörperchen.
    - Abgeplattete, mehr oder weniger eckige Zellen von 25 bis 30 Mikromillimeter Durchmesser, in denen durch Essigsäure der Kern scharf hervortritt . . . . → Epithelialzellen.
    - Grössere und kleinere, wenig durchsichtige Kügelchen, die aus zusammengedrängten Molekeln mit dunkelen Conturen bestehen und durch Essigsäure nicht verändert werden . . . → Entzündungskugeln.
    - Kugelrunde, blasse Körperchen von 8 bis 10 Mikromillimeter Durchmesser, welche durch Essigsäure die Conturen verlieren und 1 bis 4 Kerne zeigen . . . . → Eiterkörperchen.
    - Wurstförmige, blasse, bald ganz durchsichtige, bald kleine Molekeln einschliessende Körperchen von 25 bis 40 Mikromillimeter Durchmesser, und 4 bis 10 Mal länger, in Kali und Essigsäure löslich, mit Ammoniak und Salpetersäure sich gelb färbend . . . . → Fibrinexsudate aus den Harncanälchen.

Ich habe nur für den Gebrauch der Tafel noch beizufügen, dass die kurze darin angegebene Diagnose nicht für alle Fälle ausreicht, daher es manchmal nöthig sein wird, die in den beiden vorhergehenden §§. ausführlicher angegebenen Charaktere zu Rathe zu ziehen, wenn die Natur des Gefundenen ganz sicher bestimmt werden soll. Der Gang der Untersuchung muss auch je nach den Umständen etwas abgeändert werden. Ist z. B. Eiweiss im Harne, so darf, wie früher bemerkt worden ist, der Harnstoff nicht in der zur Syrupsdicke abgedampften Flüssigkeit aufgesucht werden, sondern es muss der Rückstand nach Abdampfen der ganzen Flüssigkeit erst mit Alkohol ausgezogen werden. So kommen auch noch andere derartige Fälle vor, wofür aber der in der Chemie nicht ganz Unerfahrene keiner besondern Anweisung bedarf.

Endlich hat man auch daran zu denken, dass sehr viele Substanzen, die als Nahrungsmittel oder als Arzneimittel gebraucht werden, in den Harn übergehen und als solche, oder auch in etwas verändertem Zustande sich darin wieder auffinden lassen. Indessen würde eine Aufzählung dieser Substanzen und eine Anweisung dazu, wie sie im gegebenen Falle aufgesucht werden sollen, der mehr generellen Tendenz dieses Abschnittes nicht entsprechen.

350 Endlich muss ich hier noch kurz des Einflusses gedenken, den manche von den früher erwähnten Prüfungsmitteln auf die Form und die Sichtbarkeit einzelner Elementartheile ausüben, und die man deshalb als morphologische Reagentien bezeichnen könnte, da ihrer Anwendung oftmals nur die Absicht zu Grunde liegt, das Gefüge der zu untersuchenden Objecte deutlicher zu machen. Ausführlichere Mittheilungen über diese morphologischen Reagentien finden sich in Mulder's physiologischer Chemie, in den *Scheikundige Onderzoekingen* 1845 III, und in den Holländischen Beiträgen 1847, Bd. I.

Beispiele davon für pflanzliche Gebilde hat man in dem Sichtbarwerden des inwendigen Bläschens (*Utriculus internus s. primordialis* Mohl), welches in jüngeren Zellen den Inhalt umgiebt, sobald man Alkohol, die Mehrzahl der Säuren und Salzsolutionen einwirken lässt. Recht gut kommt dasselbe nach ein paar Stunden zum Vorschein, wenn man Durchschnitte pflanzlicher Theile in einer Sublimatsolution (1 Theil auf 100 Theile Wasser) liegen lässt, oder auch in einer saturirten Chlorcalciumsolution.

Um die Kerne in jüngeren Pflanzenzellen sichtbar zu machen, müssen dieselben manchmal mit Essigsäure oder noch besser mit verdünnter Salpetersäure benetzt werden. Man nimmt dann oftmals mit grösster Deutlichkeit Kerne wahr, von denen früher keine Spur sich zeigte.

Um den Bau der Wandungen von Zellen und Gefässen zu erkennen, ist es in vielen Fällen nöthig, dieselben auf die eine oder die andere Weise stark zu färben, weil sonst die glasartige Durchsichtigkeit nicht gestattet, Oeffnungen in der Membran von verdünnten oder ver-

dickten Stellen in denselben mit Bestimmtheit zu unterscheiden. Hier leistet Jodtinctur gute Dienste. Entsteht aber dadurch noch keine hinreichend dunkle Färbung, dass z. B. kleine Oeffnungen in den Wänden junger Zellen sichtbar würden, so kann man auf die früher (S. 476) erwähnte Weise weiterhin noch Schwefelsäure zufügen, wodurch das dunkelblaue Jodamyloid entsteht.

Es kommen auch Fälle vor, wo das Vorhandensein und die Entstehungsweise des einen oder des andern Theils aufgehellt oder deutlich gemacht wird durch die Art, wie starke Reagentien darauf einwirken. Ein Beispiel dafür liefert die Cuticula der Epidermiszellen sowohl als der Holzzellen, deren Vorhandensein durch das Verhalten gegen starke Schwefelsäure aufs Bestimmteste dargethan wird; denn diese löst alles übrige bis auf die Cuticula auf.

Aber auch bei thierischen Geweben leisten solche die Structur aufhellende Reagentien gute Dienste. Die Chromsäure, mit soviel Wasser verdünnt, dass sie maderafarbig wird, färbt die meisten Gewebe gelb und gehört zu den Mitteln, wodurch man verschiedene nur mit Schwierigkeit erkennbare Theile, wie zarte thierische Häute, Capillaren u. s. w., wahrnehmbar machen kann.

Manchmal ist es auch gut, wenn man die Gewebe einige Zeit hindurch mit einer färbenden Flüssigkeit in Berührung lässt, weil der Farbstoff die verschiedenen Theile des Gewebes in ungleichem Maasse imbibirt. Hierzu eignet sich besonders eine Auflösung von Berlinerblau in Oxalsäure, desgleichen die Gerlach'sche Injectionsmasse, nämlich Karmin in Ammoniak gelöst, worüber schon S. 424 berichtet ist. In anderen Fällen, z. B. wenn man Knochen- und Zahnschliffe untersucht, ist es vortheilhafter, man lässt die Objecte erst ein paar Stunden in einer Solution von Blutlaugensalz liegen, spült sie dann gut ab und befeuchtet sie mit einem Eisenoxydsalze. Natürlicher Weise zeigt sich die blaue Färbung dann an jenen Stellen am deutlichsten, wo die erstere Flüssigkeit am meisten eingedrungen war, bei der Knochensubstanz also in den geöffneten Knochenzellen und an den Rändern der concentrischen Lamellen.

Zu dieser Klasse von färbenden Substanzen gehören auch die feinzertheilten, in Wasser unlöslichen Farbstoffe, mittelst deren man die Wege sichtbar macht, in denen sich bei kleinen Wasserthieren, namentlich bei Infusorien und Räderthieren, die Nahrungssubstanz bewegt. Am besten nimmt man dazu Wasserfarben: Karmin, Indigo, Tusche. Die nämlichen Farbstoffe eignen sich auch durch ihre ganz kleinen Molekeln dazu, die Flimmerbewegung an feinen Oberflächen sichtbar zu machen.

Von den Mineralsäuren lässt sich die concentrirte Schwefelsäure benutzen, um das sonst oftmals nur schwer sichtbare Epithelium der Haare zu isoliren. An der Salpetersäure aber, welche die Proteïnsubstanzen gelb färbt, haben wir eins der vorzüglichsten Prüfungsmittel für organische Muskelfasern, worüber bereits oben (S. 471) das Nöthige zugleich mit den erforderlichen Vorsichtsmaassregeln angegeben worden

ist. Auch kommen manche Theile durch Einwirkung dieser Säure besser zum Vorschein, z. B. die feinsten sonst schwer erkennbaren Nervenfädchen der Weichthiere (Pappenheim und Berthelen, *Comptes rendus*, 1848. XXVI. p. 338).

Noch häufigere Anwendung finden einige Pflanzensäuren, namentlich Weinsteinsäure, Citronensäure, Essigsäure, die in der Wirkung ziemlich übereinstimmend sind, von denen aber die letztgenannte am meisten in Gebrauch ist. Der concentrirten Essigsäure kommt vor Allem die Eigenschaft zu, alle Kerne viel deutlicher zu machen, so dass man deren Vorhandensein oftmals erst durch diese Säure erkennt. Nur muss man manchmal noch vorher mit Zuckerwasser befeuchten, so z. B. wenn man die Kerne in den Leberzellen deutlich machen will. Ferner quellen alle proteïnhaltige Substanzen in Essigsäure stark auf, und später lösen sie sich darin. Auf diese Eigenschaft gründet sich Bowman's Empfehlung, das Sarcolemma der Muskelprimitivbündel durch Essigsäure zur Ansicht zu bringen, weil nämlich die durch Essigsäure stark aufgequollenen Primitivfasern sich besenförmig aus der unveränderten häutigen Scheide hervordrängen.

Die Elementarfasern des leimgebenden Gewebes quellen ebenfalls in Essigsäure auf; die ganze Masse wird dadurch zugleich weit durchsichtiger und die einzelnen Fasern verlieren die Conturen. Da nun die elastischen Fasern, die immer in mehr oder weniger grosser Menge neben dem leimgebenden Gewebe vorkommen, durch Essigsäure gar nicht verändert werden, so ist die Essigsäure auch zu benutzen, um elastische Fasern und deren Antheil an der Bildung des ganzen Gewebes zu entdecken.

Sehr gute Dienste leistet die Essigsäure ferner, um Nervenprimitivröhren sowie Capillaren inmitten der Gewebe, worin sie sich verbreiten, sichtbar zu machen. Alle umgebenden Theile nämlich, die grösstentheils aus Proteïnsubstanzen oder aus Fasern des leimgebenden Gewebes bestehen, werden durch Essigsäure ganz durchsichtig, während weder die Capillaren noch die Nervenröhren dadurch eine in die Augen fallende Veränderung erleiden, und die Netze der ersteren sowie der geschlängelte Verlauf der letzteren lässt sich mit vollkommener Deutlichkeit erkennen. Ich muss jedoch bemerken, dass beide recht wohl mit einander verwechselt werden können und dass man sich in vielen Fällen davor nur durch eine sehr genaue Untersuchung schützen kann, wobei man vornehmlich auf den Ursprung der Röhrchen oder Canälchen zu achten hat.

Endlich gehört auch die Aetzkalisolution zu den unerlässlichen Hülfsmitteln bei der mikrochemischen Untersuchung vieler thierischer Gewebe, worauf Donders und Mulder zuerst mit Bestimmtheit aufmerksam gemacht haben. Es wirkt aber dieses Reagens langsam ein, und deshalb ist es vorzuziehen, wenn das zu untersuchende Object unter Abschluss der Luft in einem Uhrglase damit digerirt wird. Man nimmt

am besten eine saturirte Solution und setzt weiterhin dem auf ein Glastäfelchen gebrachten Objecte etwas Wasser zu. Von besonderer Wichtigkeit ist dies Reagens bei der Untersuchung aller Horngewebe, deren Zusammensetzung aus wahren Zellen erst damit ganz deutlich wird; denn nach Zusatz von Wasser erfahren die Hornzellen eine starke Ausdehnung und ihre vorher abgeplattete Gestalt wird kugelförmig.

Da die Proteïnverbindungen in Kali löslich sind, so werden die daraus zusammengesetzten Elementartheile, namentlich jene der willkürlichen und unwillkürlichen Muskeln, ebenfalls darin gelöst, nur nicht in der saturirten Aetzkalisolution, sondern in der mit Wasser versetzten.

Von den übrigen Elementartheilen verschwinden die Bindegewebsfasern am schnellsten in einer Auflösung von Aetzkali oder auch Aetznatron; die elastischen Fasern dagegen werden dadurch gar nicht angegriffen, auch wenn sie längere Zeit darin liegen.

Die Capillaren und Nervenprimitivröhren bleiben auch ziemlich lange darin sichtbar; ja eine nicht zu concentrirte Kali- oder Natronsolution gehört zu den vorzüglichsten Mitteln, um die Nervenröhren inmitten der übrigen Elementartheile, zwischen denen sie sich ausbreiten, kenntlich zu machen, namentlich den noch mit doppelten Conturen versehenen Theil derselben.

Wegen des verschiedenen Verhaltens zu den Nervenröhren und zum Bindegewebe kann Aetzkali sowohl wie Aetznatron dazu benutzt werden, den Verlauf der Nervenröhren in fibrösen Geweben und in der Hornhaut aufzuhellen. Nur darf dazu keine saturirte Solution genommen werden, sondern man muss dieselbe vorher mit 10 bis 15 Theilen Wasser verdünnen. Auch hat man bei dieser Behandlung im Auge zu behalten, dass es nicht die Hülle der Nervenröhrchen ist, welche sichtbar wird, sondern die Fettschicht, welche den Röhreninhalt umgiebt und die doppelten Conturen bewirkt. Die feineren Verästelungen der Nervenröhrchen, denen diese doppelten Conturen fehlen, sind daher nicht zu erkennen oder wenigstens entziehen sie sich bald der Wahrnehmung.

Fünfter Abschnitt.

Das Messen mikroskopischer Objecte.

351 In mehr denn einer Beziehung ist es von Wichtigkeit, dass man die Grösse der durchs Mikroskop beobachteten Objecte bestimmen kann. Hier, wo uns nur die durchs Gesichtsorgan wahrnehmbaren Eigenschaften der Objecte zu Gebote stehen, um ihre Natur zu bestimmen und sie von anderen Körpern zu unterscheiden, gewinnt jede Eigenschaft an Bedeutung, und die Grössenbestimmung der Objecte gehört zu deren wichtigsten Erkennungsmitteln, weil sie zu den wenigen zählt, wobei die erhaltenen Resultate von der Subjectivität des Beobachters durchaus unabhängig sind.

Man hat sich aber wohl vorgestellt, sehr genaue Grössenbestimmungen könnten wenigstens bei organischen Körpern, die in der Grösse so sehr differiren, nicht verlangt werden, und man könne sich damit begnügen, nur ihre ungefähre Grösse zu kennen und diese durch eine Zahl auszudrücken, welche durch ihre Einfachheit der Phantasie zu Hülfe kommen könnte und wodurch nur eine Vorstellung von der Kleinheit der mikroskopischen Objecte entstehen sollte, ohne dass man diese Zahl immer als das eigentliche Resultat genau ausgeführter Messungen anzusehen hätte. Es ist indessen eine ganz falsche Ansicht, dass es bei organischen Objecten auf Genauigkeit nicht ankomme. Unter 100 Negerschädeln wird man freilich keine zwei antreffen, die vollkommen gleiche Grösse haben, und das nämliche wird bei einer gleichen Anzahl von Europäerschädeln der Fall sein. Vergleicht man dann immer Schädel und Schädel der beiden Reihen, so wird man vielleicht unter denen der erstern Reihe einige finden, welche einzelne Schädel der letztern Reihe an Grösse übertreffen. Vergleicht man dagegen die Mittelwerthe, die erhalten werden, wenn man die speciellen Grössen in jeder der beiden Reihen zusammenzählt und durch 100 dividirt, so wird man ohne Zwei-

fel finden, dass dieser Mittelwerth für die erste Reihe ein kleinerer ist als für die zweite, und man ist deshalb auch vollkommen berechtigt, als allgemeine Regel aufzustellen, dass der Neger einen kleineren Schädel hat als der Europäer.

Ganz so verhält es sich aber auch mit den Elementartheilen in den organischen Geweben. Sie differiren unter einander in Grösse, diese Differenz aber hält sich innerhalb bestimmter Grenzen, die man kennen lernen kann, und hat man eine hinreichende Anzahl Messungen von verschiedenen solchen Elementartheilen vorgenommen, so erhält man einen mittlern Werth, der, abgesehen von dem wahrscheinlichen bei solchen Resultaten nicht zu vermeidenden Fehler, als ein feststehender gelten kann und somit zu den besten Charakteren der Objecte gehört.

Soll dieser Mittelwerth genau sein, so müssen auch alle Einzel- 352
bestimmungen möglichst genau sein, und darauf kommt besonders viel an, wenn man diese Mittelwerthe Berechnungen zu Grunde legt, wodurch die numerische Entwickelung der die organischen Gewebe zusammensetzenden Elemente während der verschiedenen Lebensperioden ausgedrückt werden soll.

Die beste mikrometrische Methode ist demnach im Allgemeinen jene, welche so viel möglich ganz genaue Resultate liefert. Wie nun aber das mikroskopische Sehen seine Grenzen hat, so gilt dies auch von der mikrometrischen Grössenbestimmung der Objecte: das Aeusserste, was man billiger Weise von einer mikrometrischen Methode verlangen kann, ist dies, dass sie uns in den Stand setze, Resultate zu erzielen, deren wahrscheinlicher Fehler kleiner ist als das kleinste Object, welches noch durchs Mikroskop wahrnehmbar ist. Es wird sich alsbald herausstellen, dass unter den verschiedenen mikrometrischen Methoden solche vorkommen, mit denen allerdings die äusserste Genauigkeitsgrenze erreichbar ist.

Es genügt aber nicht, dass man durch eine mikrometrische Methode 353
Resultate erlangen kann, denen die möglichste relative Genauigkeit zuerkannt werden muss, diese Resultate müssen auch wirklich ganz genaue sein, d. h. die durch die Messung erhaltenen Maasstheile müssen auch wirkliche Unterabtheilungen eines allgemeinen Mustermaasses sein.

Dieser Forderung genügt auch nicht ein einziges der auf mechanischem Wege gebildeten Mikrometer, wie mich eine zu diesem Zwecke unternommene Prüfung einer Anzahl solcher Instrumente aus den besten Werkstätten gelehrt hat (Harting, *Recherches micrométriques sur le développement des tissus et des organes du corps humain*, *précédées d'un examen critique des différentes methodes micrométriques.* Utrecht 1845). Die aufgefundenen Verschiedenheiten sind auch keineswegs so unbedeutend, dass man sie ohne grossen Irrthum ausser Acht lassen könnte, da sie

bis zu $^1/_{20}$, ja in Einem Falle selbst bis zu $^1/_8$ der gleichnamigen Maasstheile anderer Mikrometer anstiegen.

Die mit solchen Instrumenten ausgeführten Messungen sind demnach nicht mehr vergleichbar, und deshalb ist es wünschenswerth, ein Mittel zu besitzen, wodurch man mit ausreichender Sicherheit die genaue Grösse der Abtheilungen jedes Mikrometers bestimmen kann. Hat man einmal gefunden, um wie viel Male diese kleiner oder grösser als das wahre Maass sind, dann fällt es nicht schwer, die gefundene Grösse auf die wahre Grösse zu reduciren.

Das hierzu dienende Mittel ist ein sehr einfaches, und schon vor mehr als einem Jahrhundert wurde es der Hauptsache nach von Jurin anempfohlen. Man braucht nämlich nur einen dünnen Metalldraht um einen dickeren zu winden, alsdann die Windungen zu zählen und die Länge des umwundenen Theils zu bestimmen. Dividirt man diese Länge durch die Anzahl der Windungen, so erhält man die Dicke des Drahts als Quotienten.

Will man sich aber auf diese Weise einen genauen Maassstab verschaffen, so müssen verschiedene Umstände beachtet werden:

a. Der zum Umwinden genommene Draht muss überall gleiche Dicke haben, und davon muss man sich durch Untersuchung überzeugen. Nimmt man eine messingene Claviersaite, die dazu ganz geeignet und in jedem Eisenladen zu haben ist, so darf man nicht vergessen, dass eine solche auf der gewölbten, d. h. bei der Aufwindung dem Auge zugekehrten Seite immer etwas dicker gefunden wird, als wenn man den Draht um einen Winkel von 90° dreht und nun misst. Diese ungleiche Dicke ist gerade, wie bei einem Haar und auch noch in anderen Fällen, der Grund, warum sich ein solcher Draht umrollt. Hat man also einmal durch Zählen der Windungen die Dicke bestimmt, so müssen dann alle späteren Messungen auf der nämlichen Seite ausgeführt werden.

b. Gebraucht man einen Messingdraht, so muss dieser um einen ziemlich dicken, etwa 6 bis 8 Millimeter messenden Eisendraht gewunden werden. Da beide Metalle an Farbe verschieden sind, so ist man besser im Stande, mittelst einer gut vergrössernden Lupe, oder noch lieber mit dem zusammengesetzten Mikroskope bei 40- bis 50maliger Vergrösserung zu untersuchen, ob die Windungen gehörig an einander schliessen; denn davon hängt natürlich die Genauigkeit des Resultates zum grössten Theile ab.

c. Die Umwindung wird am besten auf einer Drehbank vorgenommen, namentlich deshalb, weil man dann eher im Stande ist, die Zahl der Umwindungen zu bestimmen, indem man die Umdrehungen der obersten Scheibe zählt.

d. Selbstverständlich muss dann die Länge der Gesammtwindungen mit der grössten Genauigkeit gemessen werden, da ja die Genauigkeit dieser ganzen Methode mit der Anzahl der Windungen in einem directen Verhältnisse steht.

Als Beispiel theile ich hier mit, wie ich auf die genannte Weise die Dicke einer messingenen Claviersaite bestimmt habe. Auf die mittelst eines höchst genauen Meters gemessene und an dem dicken Drahte abgesteckte Länge von 140 Millimetern gingen 1048 Windungen. Demnach ist diese Saite $^{140}/_{1048}$ Millimeter = 0,13359 Millimeter dick, und da die Anzahl der Windungen bis auf höchstens eine halbe Windung mit Zuverlässigkeit bekannt ist, so kann die grösste Differenz höchstens $^{1}/_{2000}$ betragen, also für den Durchmesser des Drahts nicht mehr als etwa $^{1}/_{14000}$ Millimeter; daher denn die gefundene Zahl bis in die vierte Decimalstelle als vollkommen richtig gelten kann. Ich maass dann die Dicke dieses Drahts an der gewölbten Seite und eben so, nachdem ich ihn um 90° umgedreht hatte, mit einem Ocularschraubenmikrometer, und fand den letztern Durchmesser um 0,00299 Millimeter kleiner.

Benutzt man nun die also gefundene Dicke eines solchen Drahts als Maassstab, so lassen sich damit nicht nur die Theilungen von Glas- und Schraubenmikrometern vergleichen, sondern es ist auch mit grosser Wahrscheinlichkeit anzunehmen, dass die gleichen Verhältnisse für alle Mikrometer gültig sind, die mit dem nämlichen Theilinstrumente angefertigt wurden und aus der nämlichen Werkstätte kommen. Giebt nun ein Beobachter, der seine Messungen publicirt, an, woher das von ihm benutzte Instrument oder der von ihm zu Grunde gelegte mikrometrische Maassstab stammt, so vermag man die durch ihn gefundenen Zahlen auf ihre wahre Grösse zu reduciren, indem man sie mit einem bestimmten Coëfficienten multiplicirt, der durch die frühere Untersuchung eines aus der nämlichen Werkstätte kommenden Mikrometers aufgefunden wurde. So hat mich eine sorgfältige Prüfung der nachbenannten Mikrometer belehrt, dass die bei ihrem Gebrauche ermittelten Werthe mit den nebenanstehenden Zahlen multiplicirt werden müssen, um auf den wahren Werth erhoben zu werden, den die obengenannte Metallsaite bestimmt:

Schraubenmikrometer von Schiek . .	0,937
Glasmikrometer von Oberhäuser . .	0,959
Schraubenmikrometer von Powell . .	0,967
Glasmikrometer von Ch. Chevalier . .	0,969
Glasmikrometer von Dollond	0,981
Schraubenmikrometer von Plössl . .	0,991
Glasmikrometer von Plössl	1,067.

Es ist ferner in Betracht zu ziehen, wie die mikrometrischen Mes- 354
sungen ausgedrückt werden sollen. Ein doppelter Zweck ist dabei im Auge zu halten: einmal nämlich soll durch die gebrauchte Zahl die Vorstellung von der Grösse des gemessenen Objects erleichtert werden; zweitens aber soll die Zahl den nöthigen Grad von Genauigkeit besitzen und ausserdem auch noch bei Rechnungen leicht zu handhaben sein.

Dem ersten Zwecke entspricht es am besten, wenn man die gefun

dene Grösse durch einen gemeinen Bruch ausdrückt. Es unterliegt wohl keinem Zweifel, dass $^1/_{226}$ eine deutlichere Vorstellung giebt als 0,004424, zumal auch die erste Zahl an Genauigkeit der zweiten nichts nachgiebt, da die Differenz einer Einheit des Nenners erst in der letzten Zahl des Decimalbruchs zum Vorschein kommt, also nur Millionstheile des Ganzen betrifft. Anders verhält es sich freilich bei der Bezeichnung grösserer Maasstheile: alle Grössen, die zwischen 0,03776 und 0,03929 liegen, lassen sich in der Form des gemeinen Bruchs nur durch $^1/_{26}$ ausdrücken. In solchen Fällen darf die Genauigkeit des ausgedrückten Werths der leichtern Vorstellung nicht zum Opfer gebracht werden. Da nun auch ausserdem Decimalbrüche bei Rechnungen weit bequemer sind, als gemeine Brüche, so verdienen jene im Allgemeinen den Vorzug. Um die eben genannte Schwierigkeit zu mindern, dass durch die vielen Zahlen und namentlich durch die Nullen eines Decimalbruchs der Ausdruck ein weniger fasslicher, dem Gedächtniss aber eine nutzlose Last aufgebürdet wird, habe ich seit mehreren Jahren und eben so auch in den früheren Abschnitten dieses Buchs eine mikroskopische Einheit angenommen, nämlich 0,001 Millimeter, die ich durch ^{mmm} (Mikromillimeter, Millimillimeter) bezeichne. Nicht ohne Grund habe ich gerade diese Grösse zur Einheit erwählt. Weiterhin anzuführende Data werden nämlich darthun, dass man bei Untersuchungen im Gebiete der organischen Natur fast niemals in den Fall kommt, kleinere Grössen als Zehntausendtheile des Millimeters auszudrücken, und dass man selbst vielfältig in Tausendtheilen sich mit ausreichender Genauigkeit ausdrücken kann. Da nun die meisten mikroskopischen Objecte, deren Durchmesser angegeben werden soll, weniger als 0,1 Millimeter messen, so kann man fast immer mit einer Zahl auskommen, die zwei oder höchstens drei Ziffern enthält. Eine solche Zahl ist leicht zu verstehen und zu behalten; nur dann, wenn sehr kleine Theile des Mikromillimeters ausgedrückt werden sollen, wie es an früheren Stellen dieses Buches vorgekommen ist, kann der gemeine gleichwerthige Bruch zugesetzt werden, um der Vorstellung zu Hülfe zu kommen.

355 Bei den Schriftstellern sind noch verschiedene Maasseinheiten im Gebrauch, da jeder Verfertiger von Mikrometern dieselben nach dem Maasse eintheilt, welches in seinem Lande das gebräuchlichste ist. Unverkennbar wird durch diese verschiedenen Weisen, wie ein und dieselbe Grösse ausgedrückt werden kann, das Lesen von Schriften, welche über mikroskopische Gegenstände handeln, nutzlos erschwert, und es kann dadurch sogar Veranlassung zu Verwirrung und Irrthum gegeben werden, weil viele anzugeben versäumen, auf welcherlei Zolle oder Linien ihre Zahlen sich beziehen, und sich damit begnügen, hinter der Zahl das Zeichen des Zolls oder der Linie zu setzen. Bei sehr kleinen Grössen entsteht dadurch freilich kein sehr erheblicher Unterschied; bei Objecten von et-

was grösseren Dimensionen darf es jedoch durchaus nicht ausser Acht gelassen werden. Ein Millimeter nämlich entspricht

0,0369413	Par.	Zoll	oder	0,4433	Par. Linie,
0,0393706	Engl.	»	»	0,4724	Engl. Linie *),
0,0379624	Wien.	»	»	0,4555	Wien. Linie,
0,0382231	Rheinl.	»	»	0,4587	Rheinl. Linie.

Oder es ist

1 Par.	Zoll	=	27,0700	Millimeter.
1 »	Linie	=	2,2558	»
1 Engl.	Zoll	=	25,3997	»
1 »	Linie	=	2,1166	»
1 Wien	Zoll	=	26,3419	»
1 »	Linie	=	2,1952	»
1 Rheinl.	Zoll	=	26,1622	»
1 »	Linie	=	2,1802	»

Zur Bequemlichkeit des Lesers ist am Ende dieses Abschnittes eine Tabelle der gebräuchlichsten Maasse, verbunden mit einer Vergleichung derselben angehängt.

Es giebt vielerlei mikrometrische Methoden. Im Nachfolgenden be- 356
schränke ich mich auf die Betrachtung jener, die gegenwärtig im allgemeinen Gebrauche sind, und die übrigen verspare ich auf den letzten Theil, weil sie nur von Einem oder von ein paar Beobachtern angewandt wurden, und mithin mehr historisches als praktisches Interesse haben.

Die Glasmikrometer stehen oben an. In der Kunst, mit Diamanten feine Theilungen auf Glas zu machen, hat man es sehr weit gebracht. Jeder Optikus fügt auf Verlangen seinen Mikroskopen Glastafeln bei, worauf der Millimeter in 100, in 500, ja in noch mehr Theile getheilt ist. Ausser durch die Feinheit der Theilung unterscheiden sich die Glasmikrometer auch noch durch die Art und Weise, wie die Theilungen darauf angebracht worden sind. Bei manchen haben alle Striche gleiche Länge, und die Verschiedenheiten in der Grösse der Abtheilungen sind blos durch verschiedene Gruppen angedeutet, in denen die Entfernung der Striche von einander variirt. Besser eingerichtet sind jene, wo die Theilungen wie auf einem gewöhnlichen Maassstabe eingetragen sind, und die grösseren Abschnitte durch vorspringende Striche angedeutet werden. Bei noch anderen findet sich blos Eine Art von Theilung; die Striche durchkreuzen sich aber rechtwinkelig und bilden somit Vierecke. Die beiden letzteren Theilungen haben ihre besonderen Vorzüge: jene, welche die Theilungsweise eines gewöhnlichen Maassstabs zeigen, passen mehr zu eigentlichen Messungen; die Viereckmikrometer dagegen passen mehr zum Abzählen der Objecte, die sich in einem bestimmten Raume

*) Der Englische Zoll wird sowohl in 12 als in 10 Linien eingetheilt. Die oben stehende Zahl gilt für die Zwölftheilung. Den Werth für die Zehntheilung findet man, wenn man die Decimalstelle in der Zahl des Englischen Zolls verrückt.

des Gesichtsfelds befinden, so wie zum Anfertigen von Zeichnungen.

Auf Dreierlei muss bei der Beurtheilung eines Glasmikrometers geachtet werden:

a. Ob jede der gleichnamigen Abtheilungen die genaue relative Grösse hat. Dies ist die wichtigste Forderung, die an jede mikrometrische Theilung gestellt werden muss, der aber nur wenige Mikrometer in so vollkommenem Maasse genügen, als die Genauigkeit der damit vorgenommenen Messungen es verlangt. Es ist gar nicht so selten, dass man bei Glasmikrometern, auch aus den besten Werkstätten, Differenzen antrifft, die bis zu $^1/_{25}$, ja sogar bis zu $^1/_7$ der gleichnamigen Abtheilungen ansteigen. Begreiflicher Weise sind aber solche Ungleichheiten, wie gross sie auch sein mögen, bei sehr kleinen Abtheilungen nur sehr schwer mit Sicherheit mit dem blossen Auge zu erkennen. Zählt man die Anzahl der Abschnitte in dem Raume des Gesichtsfelds, wenn verschiedene Theile des Mikrometers in dasselbe gebracht werden, so kann man nur sehr erhebliche Ungleichheiten dadurch kennen lernen, da ja die Ränder des Gesichtsfelds nur selten auf beiden Seiten genau auf einen Theilungsstrich fallen werden. Will man kleine Unterschiede mit Bestimmtheit erkennen, so müssen die Abtheilungen des Mikrometers der Reihe nach einzeln gemessen werden nach einer der genauesten mikrometrischen Methoden, wovon weiterhin die Rede sein wird.

b. Es kommt ferner darauf an, dass man die absolute Grösse der auf einem Glasmikrometer angegebenen Abtheilungen kennt. Dass jene Grösse, welche der Verfertiger angiebt, nicht ohne nähere Untersuchung als die richtige angenommen werden darf, ist schon aus dem kurz vorher Mitgetheilten zu ersehen. Hat man sich auf die angegebene Weise einen Metalldraht verschafft, dessen Durchmesser man ganz genau kennt, so kann man diesen auf das Glasmikrometer legen, um zu sehen, ob seine Breite mit der gleichen Breite des letztern übereinstimmt. Allein auch hierbei wird nur selten der Fall eintreten, dass die Ränder des Drahts genau auf jene eine bestimmte Abtheilung begrenzenden Striche fallen; deshalb ist es in der Regel besser, man benutzt zu einer solchen Vergleichung die Ergebnisse der nach anderen Methoden ausgeführten genauen Messungen des Drahts und der Abtheilungen des Glasmikrometers.

c. Es kommt die Breite der auf das Glas gezogenen Striche in Betracht. Bei einem Glasmikrometer, welches dazu bestimmt ist, als Object auf die Objecttafel gelegt zu werden, müssen diese Striche möglichst dünn sein und sie müssen glatte nicht ausgesprungene Ränder haben. Soll dagegen das Mikrometer behufs der Messungen in das Ocular gebracht werden, dann können, ja dann müssen sogar die Striche merklich dicker sein, so dass sie durchs Mikroskop bequem ins Auge fallen.

Bei den Messungen hat man auch daran zu denken, dass die Grösse der Felder nicht durch die einander zugekehrten Ränder zweier Striche bestimmt wird, sondern durch die Mitte dieser Striche, oder aber durch deren nach rechts oder nach links gewandte Ränder.

Die Messungen mit Glasmikrometern lassen sich aber auf mehr denn Eine Art ausführen.

Zuvörderst kann man das zu messende Object auf das Glasmikrometer selbst legen, worauf dann beide durchs Mikroskop betrachtet werden. Dieses Verfahren ist aber in mehr denn einer Hinsicht ein unvollkommenes. Erstlich lassen sich auf solche Weise nur jene Grössen mit Sicherheit messen, die nicht kleiner sind als die kleinsten Abtheilungen des Mikrometers; da aber die Theilung auf Glas der Sache nach bestimmte Grenzen nicht überschreiten kann, so wird man damit auch niemals so feine Messungen ausführen können als es nach anderen Methoden möglich ist. Zum andern sind die Ergebnisse solcher Messungen mit allen Fehlern des Mikrometers behaftet, und überdies gelingt es auch in den meisten Fällen nicht, zumal wenn starke Vergrösserungen angewendet werden, das Object und die Striche, welche die Abtheilungen begrenzen, zu gleicher Zeit scharf zu sehen, da sich beide niemals ganz in der nämlichen Ebene befinden.

Diese letztere Unbequemlichkeit tritt nicht ein, wenn man das Glasmikrometer in solcher Weise anwendet, dass man in einem der zum Mikroskope gehörigen Oculare an zwei gegenüber liegenden Punkten zwei Schrauben anbringt mit feinen in das Gesichtsfeld hineinragenden Spitzen, wo sie einander mehr genähert oder weiter aus einander gerückt werden können. Soll ein Gegenstand gemessen werden, so werden die beiden Schrauben so weit gedreht, bis die Ränder des Bildes mit den Schraubenspitzen in Berührung zu sein scheinen; dann nimmt man das Object weg, bringt das Glasmikrometer an seine Stelle, und liest nun die Entfernung zwischen den beiden Spitzen ab.

Diese Methode ist etwas besser als die erstgenannte. Die Theilungen des Mikrometers und die Schraubenspitzen kann man auf Einmal gleich scharf sehen, und wenn man dann successiv verschiedene Abtheilungen des Mikrometers zwischen die Spitzen bringt und aus diesen Messungen das Mittel nimmt, so können auch die Fehler des Mikrometers unschädlich gemacht werden. Nur ist sie mit dem grossen Fehler behaftet, dass sie hierdurch und durch den anhaltenden Wechsel des Objects mehr zeitraubend ist als eine andere Methode. Uebrigens erreicht man bei ihr gleich schnell wie bei der erstern Methode die Grenzen der feinsten Messungen. Diese Grenze ist natürlich durch die Feinheit der Theilung auf dem Glasmikrometer gegeben. Benutzte man aber auch so feine Theilungen, wie auf den letzten Gruppen der Nobert'schen Probetäfelchen, so würde die Genauigkeit der Messung doch nicht bis zu jenem Punkte reichen, und zwar wegen der Diffraction an den Spitzenenden im Ocular.

Man kann aber das Glasmikrometer auch noch nach einer dritten Methode anwenden, die in mehr denn einer Hinsicht vor den beiden andern schon genannten den Vorzug verdient. Man bringt dasselbe in das Ocular, statt es auf die Objecttafel zu legen.

Es bietet diese Methode zunächst den Vortheil, dass man, um Messungen von gleicher Feinheit auszuführen, ein Glasmikrometer nehmen kann, dessen Striche viel weiter aus einander stehen, als dort, wo das Glasmikrometer als Object benutzt wird, und zwar aus dem Grunde, weil die Vergrösserung der mikrometrischen Abtheilungen hierbei lediglich im Oculare stattfindet. Angenommen, das Ocular vergrössert 10 Mal und auf dem Mikrometer ist das Millimeter in 20 Abschnitte getheilt, so wird jede Abtheilung, die in die angenommene Entfernung des deutlichen Sehens projicirt wird, $^1/_2$ Millimeter gross sein. Vergrössert nun das Mikroskop für diese Entfernung 500 Mal, so entspricht jede Abtheilung, die im Gesichtsfelde sichtbar ist, $^1/_{1000}$ Millimeter. Es lassen sich aber noch stärkere Vergrösserungen anwenden und ebenso noch feiner getheilte Mikrometer; daher es denn nicht schwer fällt, nach dieser Methode noch $^1/_{2000}$ bis $^1/_{2500}$ Millimeter direct und auf zuverlässige Weise zu messen, wozu vornehmlich noch das mit beiträgt, dass die Striche auf dem zu solchem Zwecke bestimmten Mikrometer breiter und tiefer sind, als es bei feinerer Theilung möglich ist, und daher auch mit etwas Färbendem eingerieben werden können, um sie noch sichtbarer zu machen.

Der Hauptvorzug dieser Methode liegt aber darin, dass die Fehler des Mikrometers dadurch ganz unmerkbar werden. Hat man z. B. den Werth jeder Abtheilung = $^1/_{1000}$ Millimeter gefunden, so werden, wenn selbst ein Unterschied von $^1/_7$ zwischen den einzelnen Abtheilungen vorkäme (also der grösste, den ich überhaupt beobachtet habe), die Messungswerthe doch nicht über $^1/_{7000}$ Millimeter von einander differiren können, also so wenig, dass der Unterschied für sehr viele Objecte schon ausserhalb der Grenzen der Wahrnehmbarkeit liegt.

Gleichwohl hat auch diese Methode ihre Nachtheile. Zuerst nämlich hat man mit derselben keine directen Messungen, und es muss eine ausdrückliche Maassbestimmung der Abtheilungen vorausgegangen sein, und zwar für jedes Objectivsystem im Besondern, weil jenes Maass in dem Grade abnimmt, als die Vergrösserung durch das Objectivsystem zunimmt. Zu dieser Bestimmung kann jedes Object benutzt werden, dessen Durchmesser genau bekannt ist, am besten daher die mehrgenannte metallische Saite, oder auch ein zweites Glasmikrometer, wenn nur verschiedene Abtheilungen desselben mit jenen des Ocularmikrometers verglichen und die Mittelwerthe daraus berechnet werden.

Ein gewichtigerer Einwurf gegen die Benutzung des Glasmikrometers im Oculare liegt darin, dass sich die Striche nur noch sehr schwer unterscheiden lassen, sobald viele Objecte auf und durch einander liegend im Gesichtsfelde wahrgenommen werden. Blutkörperchen und ähnliche isolirt vorkommende Objecte lassen sich damit nicht nur leicht, sondern auch sehr genau messen; dagegen lassen sich Ganglienzellen inmitten des umgebenden Gewebes, oder Fettzellen, die unter einander im Zusammenhange sind u. s. w. auf diese Weise nur sehr schwer, ja oftmals gar nicht messen.

Schraubenmikrometer. Wird eine Schraube herumgedreht, so 357
macht sie eine Bewegung vorwärts oder rückwärts, und diese Bewegung fällt um desto kleiner aus, je mehr Schraubenwindungen auf eine gegebene Strecke treffen. Kommen 5 Windungen auf 1 Millimeter, so bewirkt jede vollständige Umdrehung der Schraube eine Vorwärts- oder Rückwärtsbewegung von $^1/_5$ Millimeter, und ist das nach aussen stehende Ende der Schraube mit einem in 100 Theile getheilten Index versehen, so beträgt die Bewegung der Schraube für jeden dieser 100 Theile oder Grade $^1/_{500}$ Millimeter. Befindet sich auch noch ein Nonius daran, wodurch Zehntelgrade angegeben werden, so lässt sich die Schraube um $^1/_{5000}$ Millimeter vorwärts oder rückwärts bewegen.

Auf dieser Eigenschaft der Schraube beruht nun ihre Anwendung als Mikrometer. Gewöhnlich ist aber die Einrichtung an diesem so, dass die männliche Schraube feststeht, also weder vor- noch rückwärts bewegt, sondern nur umgedreht werden kann, während dagegen die Mutterschraube, in einem dafür bestimmten Rahmen gleitend, fortbewegt wird und zugleich das Object mit sich führt, dem eine langsame Bewegung ertheilt werden soll.

Die jetzt gebräuchlichen Schraubenmikrometer sind entweder *Objecttisch-Schraubenmikrometer* oder *Ocular-Schraubenmikrometer.*

Das Objecttisch-Schraubenmikrometer soll einen Theil des Objecttisches und damit zugleich das Object in Bewegung versetzen, deren Ausdehnung dadurch bestimmt wird, dass man nach einander die beiden Ränder des Bildes auf einen im Ocular ausgespannten Faden fallen lässt; der durchlaufene Weg wird dann durch die Anzahl der Umdrehungen oder der Umdrehungsfragmente der Schraube bestimmt.

Wir haben aber schon weiter oben gesehen, dass man auf die absolute Richtigkeit der also erhaltenen Maasse nicht vertrauen darf, und das wird jenen nicht Wunder nehmen, der da weiss, wie solche Schrauben geschnitten werden, wobei leicht Fehler vorkommen können, die $^1/_{100}$ oder noch mehr betragen. Will man die wahren Werthe der Abtheilungen des Schraubenmikrometers kennen, so ist es unerlässlich, dass dieselben an einem festen Maassstabe, etwa an der mehrerwähnten Metallsaite, geprüft werden. Das Zählen der Schraubenwindungen für eine bestimmte Strecke, welches von vielen empfohlen wird, führt zu ganz unzuverlässigen Resultaten, weil die Schraube dafür viel zu kurz ist. Ein Glasmikrometer ist blos dann als Maassstab zu benutzen, wenn der Werth seiner Abtheilungen vorher genau ermittelt wurde, da man die Ungleichheiten der einzelnen Abtheilungen dadurch unschädlich machen kann, dass man eine Anzahl Messungen an verschiedenen Abtheilungen ausführt.

Bei der Prüfung eines Schraubenmikrometers kommt aber auch noch anderes in Betracht. Bei schlecht gefertigten Instrumenten der Art nimmt man in stärckerem oder schwächerem Grade den sogenannten todten

Gang wahr, d. h. die Indexplatte kann sich bewegen, ohne dass an der Schraube oder am Objecte selbst gleichzeitig eine Bewegung stattfindet. Dieser Fehler stellt sich im Verlaufe der Zeit selbst bei den besten Schraubenmikrometern ein, wenn sie viel gebraucht werden, weil dadurch die den Gang der Schraube regelnde Feder allmälig nachgiebt, woraus dann die Regel folgt, dass man ein solches Instrument nur zu Messungen anwenden darf, nicht aber dazu, die Objecte im Gesichtsfelde blos in Bewegung zu setzen. Besteht der Fehler einmal und ist der Apparat sonst unbeschädigt, so lässt sich sein Einfluss auf die Messungen vermeiden, wenn man den einen Rand vom Bilde des Objects mit dem Faden im Oculare zusammentreffen lässt und dann die Schraube immer in gleicher Richtung fortdreht, bis auch der andere Rand auf diesen Faden fällt. Jedes Hin- und Herbewegen des Objects ist hier nachtheilig.

Ferner muss man auch die unveränderlichen Fehler der Schraube untersuchen und kennen. Bei Instrumenten aus guten Werkstätten sind diese Fehler allerdings unbedeutend; wo es indessen auf Genauigkeit ankommt, dürfen sie doch nicht übersehen werden. Man erhält nicht mit allen Theilen der Schraube gleiche Maasse, wovon man sich überzeugen kann, wenn man nach einander das nämliche Object mit verschiedenen Schraubenabtheilungen misst. Kennt man aber einmal diese kleinen Ungleichheiten, so kann man sie später bei den Berechnungen mit in Ansatz bringen.

Der im Oculare ausgespannte Faden ist in der Regel ein Spinnenwebfaden; doch kann man auch andere Fäden und Haare, sowie mit dem Diamanten auf Glas gezogene Striche dazu verwenden. Es kommt eigentlich weniger darauf an, ob ein solcher Faden ganz dünn ist, sondern mehr auf die Schärfe der Ränder, welche mit jenen vom Bilde des Objects zusammenfallen müssen. Eine Schwierigkeit macht sich aber bei allen Messungen mit dem Schraubenmikrometer geltend, nämlich der Einfluss der Diffraction, weshalb man nur schwer mit Bestimmtheit den Augenblick angeben kann, wann die Ränder des Fadens und des Objects zusammenfallen. Um diese Schwierigkeit zu beseitigen, empfahl Mohl (Linnaea 1842, S. 502), statt des Fadens eine Nadel mit einer feinen Spitze in das Ocular zu bringen, die dann in der Mitte des Gesichtsfeldes liegt. Dadurch wird aber die Sache nicht gebessert. Die Beugung der Lichtstrahlen findet in gleicher Weise zwischen einer solchen Spitze und dem Rande des Objects statt, wie zwischen dem letztern und einem Faden. Die Diffraction lässt sich nur dadurch ganz beseitigen, dass man bei auffallendem Lichte misst; das ist aber natürlich nur bei einzelnen Objecten und bei einer nicht zu starken Vergrösserung möglich.

Die Grenzen der Genauigkeit beim Gebrauche des Objecttisch-Schraubenmikrometers hat Mohl sowohl, wie ich selbst, durch Probemessungen festzustellen versucht, woraus denn der wahrscheinliche Fehler für die einzelne Messung sowohl, als für das Mittel aus einer Anzahl

Messungen berechnet wurde. Objecte von verschiedener Grösse maass Mohl mit einem Plössl'schen Schraubenmikrometer, und der wahrscheinliche Fehler des Mittels bei zehn Messungen des nämlichen Objects schwankte zwischen $^1/_{25000}$ und $^1/_{9200}$ Millimeter, oder er betrug im Mittel $^1/_{13700}$ Millimeter. Ich nahm die Messung eines Blutkörperchens mit einem Schraubenmikrometer von Plössl und einem solchen von Powell vor, und erhielt für die gleiche Anzahl von Messungen folgende Werthe:

	Grösste Differenz zwischen den einzelnen Messungen.	Wahrscheinlicher Fehler des Mittels.	Wahrscheinlicher Fehler der einzelnen Messung.
Powell . . .	$^1/_{492}$ mm	$^1/_{9010}$ mm	$^1/_{2500}$ mm
Plössl . . .	$^1/_{760}$ »	$^1/_{10100}$ »	$^1/_{3000}$ »

Es ist hieraus zu entnehmen, dass der wahrscheinliche Fehler im Mittel für eine Anzahl Messungen des nämlichen Objects zwar so gering ist, dass er in den meisten Fällen übersehen werden darf, dass dagegen bei der einzelnen Messung ein wahrscheinlicher Fehler begangen wird, der bei Objecten, welche nur unter 1 Mikromillim. gross sind, bis $^1/_4$, ja selbst $^1/_3$ ihres Durchmessers beträgt, und ungeachtet der grössten Sorgfalt bei Vornahme der Messung selbst noch höher ansteigen kann.

Der Grund, warum auch durch die am besten gearbeiteten Schraubenmikrometer dieser Art keine genaueren Resultate erzielt werden, liegt zum Theil darin, dass, wenn auch das ganze Stativ eine ziemliche Festigkeit besitzt, dennoch beim Bewegen der Schraube durch den Druck der Finger in der relativen Stellung des Objects leicht eine Veränderung eintritt, ganz unabhängig vom Gange der Schraube, weshalb man, wenn der entgegengesetzte Rand des Objects auf den Faden trifft, keineswegs ganz sicher ist, dass die durchlaufene Strecke auch genau den zu messenden Durchmesser darstellt. Dazu kommt noch, dass alle begangenen Fehler, mögen sie beim Einstellen des Objectrandes am Faden vorkommen oder in der Schraube selbst liegen, in gleichem Maasse wie die angewendete Vergrösserung wachsen.

Aus diesen Gründen steht das Objecttischschraubenmikrometer an Genauigkeit dem Ocularschraubenmikrometer nach. Die gebräuchlichste Einrichtung des letztern ist ganz die nämliche wie bei den astronomischen Fernröhren: es ist nämlich ein Ramsden'sches Ocular, in dessen Gesichtsfelde sich zwei parallele Fäden befinden, der eine feststehend, der andere durch eine Schraube auf und ab zu bewegen. Beim Gebrauche kommen die Ränder des Bildes zwischen die beiden Fäden. Der Werth des einzelnen Schraubenumgangs und der auf dem Index eingeschnittenen Theilungen muss vorher durch die mehrfach genannten Mittel bestimmt werden und ist natürlich ein anderer für jedes Objectivsystem.

Offenbar kann eine viel grössere Genauigkeit erzielt werden, wenn in dieser Weise die Schraube als Mikrometer benutzt wird. Die nämliche Schraube z. B., welche fünf Windungen auf 1 Millimeter zählt, mithin in der Wirklichkeit ein Object durch eine vollständige Umdrehung nur

um $^1/_5$ Millim. verrückt, wird, wenn das durch das Ocular betrachtete Object 100 Mal vergrössert ist, bei jeder Umdrehung $^1/_{500}$ Millim. des Objects auf dem Objecttische repräsentiren. Ist dann der Index noch in 100 Grade getheilt, so wird durch jede Abtheilung $^1/_{50000}$ Millim. gemessen. Die Feinheit der Messung könnte durch einen angebrachten Nonius noch gesteigert werden; eine solche Steigerung ist aber fast überflüssig, und man benutzt daher auch in Ocularschraubenmikrometern für gewöhnlich etwas dickere Schrauben mit einer geringeren Anzahl von Windungen. Solche Schrauben lassen sich aber auch aus diesem Grunde mit grösserer Genauigkeit herrichten, als die ganz feinen Schrauben zu Mikrometern, durch welche das Object selbst bewegt wird.

Mit einem Dollond'schen Mikrometer dieser Art, an dem jede Abtheilung des Index bei einer 435fachen Vergrösserung 0,094 Mikromillim. ($^1/_{10630}$ Millim.), bei 820facher Vergrösserung aber 0,051 Mikromillim. ($^1/_{19600}$ Millim.) repräsentirt *), wurden einzelne Objecte immer einer zehnmaligen Messung unterworfen, und dabei stellten sich folgende Ergebnisse heraus:

Object.	Vergrösserung.	Grösste Differenz.	Wahrscheinliche Fehler des Mittels.	Wahrscheinliche Fehler der einzelnen Messung.
1. Ein Blutkörperchen	435	$^1/_{2040}$ mm	$^1/_{31200}$ mm	$^1/_{9940}$ mm
2. 0,05 Millim. eines Glasmikrometers . .	435	$^1/_{2040}$ "	$^1/_{30000}$ "	$^1/_{9560}$ "
3. 0,01 Millim. eines Glasmikrometers . .	850	$^1/_{2700}$ "	$^1/_{57000}$ "	$^1/_{18200}$ "
4. Abstand zwischen zwei Streifchen auf einem ganz kleinen Flügelschüppchen von *Lepisma saccharinum*	850	$^1/_{6250}$ "	$^1/_{86000}$ "	$^1/_{27000}$ "

Hier liegt offenbar der wahrscheinliche Fehler des Mittelwerthes weit ausserhalb der Grenzen, die weiter oben (§. 241) für die Wahrnehmbarkeit undurchsichtiger Objecte durchs Mikroskop gefunden wurden, da selbst der Fehler bei der einzelnen Messung dieser Grenze sehr nahe kommt. Das ist aber der möglichst hohe Grad von Genauigkeit, der bei einer mikrometrischen Methode erreicht werden kann, und wirklich übertrifft das Ocularmikrometer in dieser Hinsicht alle übrigen.

Seiner allgemeinen Verbreitung steht allein die grössere Kostbarkeit im Wege. Ausser dem Mikrometer selbst, das natürlich schon zu den kostspieligen Instrumenten gehört, bedarf es auch noch einer beson-

*) Diese Zahlen sind nicht ganz die nämlichen, die ich in den *Recherches micrométriques* p. 18 angegeben habe. Dort nämlich habe ich den Werth der Oberhäuser'schen Mikrometerabtheilungen zu Grunde gelegt; später aber habe ich mittelst der mehrgenannten Metallsaite eine genauere Bestimmung erzielt.

dern Einrichtung des Objecttisches. Derselbe muss mit einem beweglichen Schlitten versehen sein, um den einen Rand des Bildes mit dem feststehenden Mikrometerfaden zusammenfallen zu lassen, was ja mittelst der Hand durchaus nicht mit genugsamer Sicherheit zu erreichen sein würde.

In Einem Punkte steht aber das Ocularschraubenmikrometer dem Objecttischschraubenmikrometer dennoch nach, und dieser darf nicht übersehen werden, wenn es sich um eine grosse Genauigkeit der Messung handelt. Die Fäden des Mikrometers liegen nämlich im Brennpunkte des Oculars und ihr Scheinbild befindet sich deshalb niemals in einer ganz geraden Ebene. Die Vergrösserung ist in der Mitte des Gesichtsfeldes am schwächsten, und nimmt nach den Rändern hin allmälig zu. Die Folge hiervon ist, dass der Werth der Abtheilungen des Index den verschiedenen Abständen, in welche die beiden Fäden durch die Schraubenbewegung kommen, nicht ganz vollständig entspricht, oder mit anderen Worten, wenn man den Abtheilungen des Index einen unveränderlichen Werth beilegt, wie er mit einem kleinen Objecte von bekanntem Durchmesser gefunden wurde, so wird man bei grösseren Objecten einen geringern Durchmesser erhalten, als dieselben wirklich besitzen. Kommt es also auf grosse Genauigkeit an, wie etwa in dem Falle, wo der Brechungsindex einer Flüssigkeit mittelst der Grösse des Bildchens auf Luftbläschen bestimmt werden soll (§. 90), so muss der Werth der Indexabtheilungen für die verschiedenen Abschnitte des Gesichtsfeldes bestimmt werden.

Am besten bedient man sich hierbei eines Glasmikrometers mit solcher Theilung, dass z. B. 10 bis 12 Abtheilungen zwischen die Fäden des Ocularschraubenmikrometers zu liegen kommen können, wenn dieselben durchs Fortbewegen der Schraube ziemlich in den grössten Abstand von einander gebracht worden sind. Nun misst man nach einander jede der 10 oder 12 Abtheilungen, wobei man Sorge zu tragen hat, dass die nach rechts oder nach links gekehrten Ränder jeder Abtheilung immer genau zwischen den Fäden liegen, damit jede folgende Messung sich immer genau an die vorhergehende anschliesst. Hat man so die Grösse jeder Abtheilung des Glasmikrometers, und zwar in Graden des Index ausgedrückt, für jenen Theil des Gesichtsfeldes, der sich wenig ausserhalb der Axe des Mikroskops befindet, kennen gelernt, so misst man darnach alle 10 bis 12 Abtheilungen zusammen. Bestände keine verschiedene Vergrösserung in den verschiedenen Feldern des Gesichtsfeldes, dann müsste selbstverständlich der jetzt gefundene Werth die Summe der einzelnen Werthe sein, welche durch die erste Reihe von Messungen gefunden wurden. Da aber diese ungleiche Vergrösserung, wie gering sie auch sei, bei einem positiven Oculare niemals fehlt, so müssen auch zwei verschiedene Resultate herauskommen. Ein Beispiel möge zur Erläuterung dienen. Mit dem vorhin erwähnten Ocularschraubenmikrometer finde ich, wenn zehn Abtheilungen eines Glasmikrometers nach einander

gemessen werden, für die einzelne Abtheilung 75,8 Grade des Index als Mittelwerth. Wird aber die Gesammtausdehnung der zehn Abtheilungen zwischen die Fäden gebracht, so ergiebt sich für die Fortbewegung der Schraube nicht die Zahl 758, sondern nur 735. Die einzelnen Abtheilungen verhalten sich also in beiden Fällen zu einander wie 735 : 758, oder etwa wie 1 : 1,03. Wenn also beim Messen kleinerer Objecte die oben genannten Werthe von 0,094 Mikromillim. und 0,051 Mikromillim. für die einzelnen Grade des Index ganz richtige sind, so müssen dieselben dagegen mit 1,03 multiplicirt werden für solche Objecte, deren Bild ungefähr die nämliche Ausdehnung im Gesichtsfelde hat als jene zehn Abtheilungen des Glasmikrometers, d. h. jene Zahlen sind für diesen Fall in 0,096 und in 0,0525 umzuändern. Bei kleineren Objecten ist die Differenz natürlicher Weise unbedeutender, bei grösseren dagegen ist sie auch noch mehr hervortretend. Hat man indessen nur Einmal auf die genannte Weise zwei solche Abschnitte des Gesichtsfeldes untersucht, so kann man weiterhin mit ziemlicher Genauigkeit den Werth einzelner Abschnitte, etwa eines ganzen Schraubenumgangs, durch Interpolation herausfinden.

358 Unter den Methoden, wie man die Grösse mikroskopischer Gegenstände misst, haben einige das mit einander gemein, dass das vergrösserte Bild auf eine Oberfläche projicirt, auf dieser gemessen, und dann der gefundene Durchmesser durch die Vergrösserungsziffer dividirt wird. Der so erhaltene Quotient ist der Durchmesser des Objects. Dieser Weg wird aber im Allgemeinen eingeschlagen:

a. beim Gebrauche der verschiedenen Arten dioptrischer und katoptrischer Projectionsmittel;

b. bei Benutzung des Bildmikroskops;

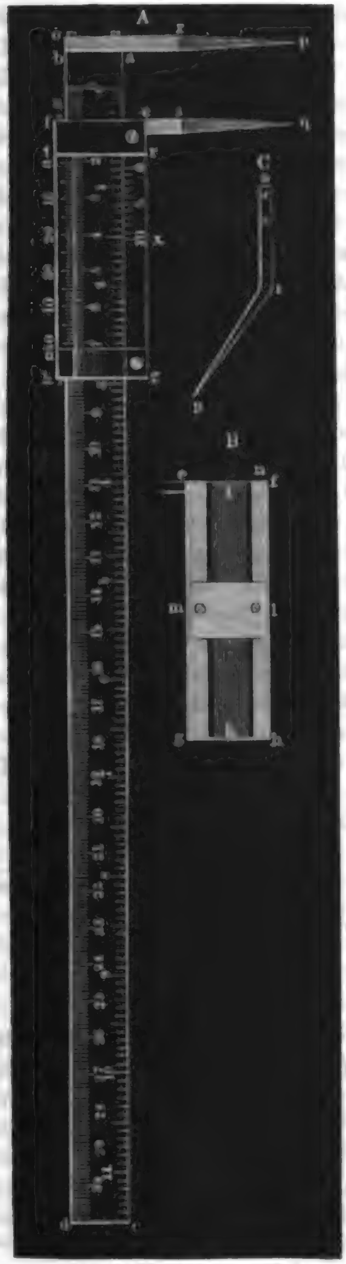
c. beim Doppelsehen.

Bei allen diesen Methoden ist demnach vor Allem nöthig, dass die Vergrösserung ganz genau bekannt ist, worüber die nöthige Anweisung früher (§. 219) gegeben wurde. Nur bemerke ich hier, dass für die zu diesem Zwecke erforderliche Vergrösserungsziffer keinerlei Entfernung des deutlichen Sehens in Betracht kommt, sondern nur die Frage zu beantworten ist: welches ist die Vergrösserung des Objects bei einer bestimmten, immer unveränderlichen Entfernung von der Ebene, auf welche sein Bild projicirt wird? Diese erste Bestimmung muss natürlich höchst sorgfältig vorgenommen werden, und bei jeder nachfolgenden Bestimmung, wo die gefundene Vergrösserungsziffer in Anwendung gezogen wird, ist sorgsam darauf zu achten, dass die angenommene Entfernung des Bildes auch ganz unverändert eingehalten wird.

Auch muss dabei auf den Einfluss geachtet werden, welchen die Krümmung des Bildes (§§. 219 und 236) auf die Vergrösserung übt, und man muss untersuchen, welcher Unterschied in dieser Beziehung an den verschiedenartigen Abschnitten des Gesichtsfeldes hervortritt. Uebrigens lässt sich dieser Unterschied ganz unschädlich machen, wenn

man einen Ring in das Ocular bringt und vor jeder Messung das Object so legt, dass sein Bild an den Rändern dieses Ringes auftritt.

Fig. 211.



Harting's Schiebercirkel.

Zweitens muss aber auch der Durchmesser des Bildes so genau als möglich gemessen werden, also mindestens bis zu Zehnteln des Millimeters. Man kann sich dazu des schon oben (S. 247) beschriebenen Doppelcirkels bedienen, durch den das Maass verfünffacht wird. In dessen Ermangelung kann man aber auch zu den anderen dort genannten Mitteln greifen.

Am besten eignet sich übrigens hierzu ein Schiebercirkel, wie in Fig. 211 in halber Grösse abgebildet ist nach einem Instrumente, das ich mir hier habe anfertigen lassen, und dessen ich mich seit mehreren Jahren mit Nutzen bediene. Es besteht aus zwei Theilen, aus einem platten Messingstabe (*A. a b c d*) und einem darüber hingleitenden Rahmen (*A. e f g h*). Durch eine an der Unterfläche des letztern befindliche Feder (*B. i k*), welche mit *l m* kreuzförmig vereinigt und durch Schrauben an dem Rahmen befestigt ist, sowie durch eine zweite seitliche Feder (*A. n*), die in eine Rinne von *f h* passt, wird der Rahmen an den Messingstab angedrückt. An dem einen Ende des Messingstabes und ebenso an dem ihm entsprechenden Theile des Rahmens sind senkrecht stählerne Ansatzstücke (*A. o p* und *e q*) angebracht; beide gehen in eine Spitze aus, und da sie an den einander zugekehrten Seiten ganz eben sind, so können sie in unmittelbare Berührung mit einander gebracht werden. Bei *r* und *s* sind sie abwärts gebogen unter einem Winkel von 145°, so dass sie von der Seite her sich so ausnehmen wie bei *C*. Dadurch wird die Bewegung der Spitzen über eine ebene Fläche erleichtert, während die Hand,

welche das Instrument hält, auf dem Tische ruht. Am Verbindungsstücke *gh* befindet sich noch ein anderes Stück Messing; dasselbe ist etwas ausgehöhlt und hat eine Menge Vertiefungen zur Stütze für das letzte Glied des Daumens, womit der Rahmen bequem über den Messingstab hin und her geschoben wird, während die anderen Finger denselben umfassen. Der Messingstab hat auf der einen Seite eine Theilung in Centimeter und Millimeter, und mittelst eines bei *tu* angebrachten Nonius lassen sich auch noch Funfzigstel des Millimeters ablesen. Auf der andern Seite des Messingstabes kann auch wohl noch eine zweite Scale mit Zollen und Linien und einem Nonius etwa bei *x* angebracht werden. Die Theilung ist so gemacht, dass, wenn die beiden stählernen Ansatzstücke an einander liegen und die Spitzen einander berühren, der Nonius auf Null zeigt.

Ein solcher Schiebercirkel ist nicht blos bei mikrometrischen Messungen, sondern auch bei vielen anderen Messungen ein sehr brauchbares Instrument, namentlich wenn man den Dickendurchmesser haben will, z. B. der so häufig benutzten Deckblättchen.

359 Will man Messungen vornehmen, so ist es ziemlich einerlei, welches von den verschiedenen dioptrischen und katoptrischen Mitteln zum Projiciren der Bilder gewählt wird, ob eine *Camera lucida*, oder ein Sömmerring'sches Spiegelchen u. s. w., von denen früher (§. 179) gehandelt worden ist. Bedingung ist es aber bei allen, dass entweder das Mikroskop horizontal gestellt wird, oder dass die Strahlenbündel durch ein rechtwinkliges Glasprisma eine horizontale Richtung bekommen, da sich Bilder, welche auf eine verticale Fläche projicirt werden, nur schwer mit der nöthigen Genauigkeit messen lassen, weil die Hand der Unterstützung entbehrt. Es ist gut, wenn man auf eine Schiefertafel projiciren lässt, nur muss man dann eine Tafel von immer gleicher Dicke benutzen.

Wendet man alle nöthige Vorsicht an, so lassen sich mit diesen Mitteln sehr genaue Messungen ausführen. Mit dem Sömmerring'schen Spiegelchen wurde z. B. Folgendes gefunden:

Object.	Vergrösserung.	Grösste Differenz.	Wahrscheinlicher Fehler des Mittels aus zehn Messungen.	Wahrscheinlicher Fehler der einzelnen Messung.
1. Blutkörperchen . .	740	$^1/_{1480}$ mm	$^1/_{24100}$ mm	$^1/_{7630}$ mm
2. 0,05 Millim. eines Glasmikrometers .	369	$^1/_{526}$ "	$^1/_{7812}$ "	$^1/_{2730}$ "

Die Grösse des wahrscheinlichen Fehlers ist in diesen beiden Fällen sehr ungleich, und das hat einen doppelten Grund. Einmal nämlich nimmt die Genauigkeit der Messung in dem Maasse zu als die Vergrösserung wächst. Bei einer 740maligen Vergrösserung sind zwar die Umrisse nicht mehr so scharf wie bei einer 369maligen; bei der letztern fallen aber dafür auch alle Messungsfehler fast doppelt so gross aus wie bei der erstern. Der zweite Punkt ist der, dass die beiden benutzten Objecte eine ungleiche Grösse haben. Das Blutkörperchen maass 6,3 mm,

hatte also nur ungefähr $^1/_8$ von der Grösse der benutzten Mikrometerabtheilung; sein Bild war also etwa vier Mal kleiner. Je kleiner aber ein Bild ist, um so leichter werden seine beiden Grenzlinien in dem nämlichen Momente vom Auge wahrgenommen, um so zuverlässiger ist daher auch die Messung mittelst des Cirkels. Wenn hingegen das Bild einen grösseren Theil des Gesichtsfeldes einnimmt, so fällt es um so schwerer, seine beiden Ränder auf Einmal wahrzunehmen, und damit nimmt die Möglichkeit zu, Fehler beim Messen zu begehen.

In dieser Hinsicht steht demnach diese Methode dem Gebrauche des Schraubenmikrometers nach; denn mit diesem lassen sich grössere wie kleinere Objecte mit dem nämlichen Grade von Genauigkeit messen. Dem Objecttischschraubenmikrometer ist sie beim Messen sehr kleiner Objecte vorzuziehen, da sie hierbei fast gleichen Werth hat wie das Ocularschraubenmikrometer.

Mit allen Arten von **Bildmikroskopen** (§. 130) lassen sich Mes- 360
sungen ausführen. Bei der gewöhnlichen Einrichtung indessen, wornach sie ein dunkeles Zimmer verlangen, ist es zu umständlich, wenn sie zu Messungen benutzt werden. Anders verhält es sich mit den tragbaren Bildmikroskopen, namentlich mit jenem, welches weiter unten (Fig. 212, §. 368) dargestellt ist. Bei diesem wird das Bild auf einer matt geschliffenen Glasplatte aufgefangen und unter Beachtung der angegebenen Vorsichtsmaassregeln gemessen. Mit diesem Apparate wurden folgende Resultate erhalten:

Object.	Vergrösserung.	Grösste Differenz.	Wahrscheinlicher Fehler des Mittelwerthes.	Wahrscheinlicher Fehler der einzelnen Messung.
1. Blutkörperchen . . .	593	$^1/_{1500}$ mm	$^1/_{24400}$ mm	$^1/_{7640}$ mm
2. 0,05 Millimeter eines Glasmikrometers . .	593	$^1/_{840}$ „	$^1/_{13900}$ „	$^1/_{4400}$ „

Man ersieht daraus, dass sich auch nach dieser Methode der Durchmesser der Objecte mit grosser Genauigkeit messen lässt, wenn man nur eine stärkere Vergrösserung wählt, da natürlich, gleichwie bei den vorigen Methoden, die Grösse des wahrscheinlichen Fehlers in gleichem Verhältnisse steigt, als die angewandte Vergrösserung abnimmt. Zugleich sieht man auch, dass der Durchmesser der Objecte nicht ohne Einfluss ist, wenn derselbe auch nicht in gleichem Maasse wie beim Sömmerring'schen Spiegelchen sich geltend macht. Dies erklärt sich daraus, dass hier nicht eben so wie dort grössere Bilder mit geringerer Zuverlässigkeit messbar sind, bloss deshalb, weil sie grösser sind, sondern daraus, dass die durchs Bildmikroskop erzeugten Bilder in der Mitte des Feldes immer die schärfsten Ränder haben.

Die letzte noch zu erwähnende mikrometrische Methode ist das 361
Doppelsehen der Objectbilder, wenn das Bild mit dem einen Auge im

Gesichtsfelde beobachtet, mit dem andern auf die Objecttafel projicirt und dort gemessen wird. Schon oben (§. 185) ist vom Doppelsehen die Rede gewesen; hier ist nur noch der besonderen Rücksichten zu gedenken, welche zu nehmen sind, wenn gemessen werden soll.

1. Während des Messens muss die Augenaxe ihre Richtung unverändert beibehalten, das Auge also ganz unbeweglich gehalten werden.

2. Um die Spitzen des zum Messen benutzten Cirkels immer in gleicher Entfernung vom Auge zu haben, muss das zusammengesetzte Mikroskop einen grossen Objecttisch haben, worauf die Spitzen des Cirkels ruhen können. Den zu kleinen Objecttisch, wie er bei vielen Mikroskopen vorkommt, kann man vergrössern, wenn man ein Stück ganz ebene Pappe zwischen den federnden Apparat bringt. Beim einfachen Mikroskope sowohl als auch beim zusammengesetzten, nicht gerade hohen Mikroskope kann der Cirkel auf die Tafel gehalten werden, worauf das Instrument ruht, oder auch auf das Kästchen, worauf letzteres geschraubt ist.

3. Auf die Fläche, wohin das Bild projicirt wird, legt man ein Stück Papier, welches so viel wie möglich die Farbe des Gesichtsfeldes hat. Dadurch wird die Illusion, als ob beide Augen das Bild und den zu messenden Gegenstand zu gleicher Zeit sähen, gar sehr gesteigert.

4. Man muss darauf bedacht sein, dass die Fläche, worauf die Messung vorgenommen wird, und das Auge immer gleich weit von einander entfernt sind. Die Glasplättchen, worauf die Objecte kommen, dürfen deshalb nicht ungleich dick sein, und das Nämliche gilt auch von dem auf dem Objecttische liegenden Papier.

Dass endlich bei Bestimmung der Vergrösserungen und bei den Messungen selbst alle die vorhin genannten allgemeinen Rücksichten zu nehmen sind, braucht nicht wiederholt zu werden.

Ueber die wahrscheinlichen Fehler bei dieser Methode geben folgende Versuche Aufschluss:

Object.	Vergrösserung.	Grösste Differenz.	Wahrscheinlicher Fehler des Mittels aus 10 Messungen.	Wahrscheinlicher Fehler der einzelnen Messung.
1. Blutkörperchen . . .	579	$^1/_{1940}$ mm	$^1/_{27000}$ mm	$^1/_{8330}$ mm
2. Desgl.	332	$^1/_{1660}$ "	$^1/_{22100}$ "	$^1/_{7040}$ "
3. 0,05 Millimeter eines Glasmikrometers . .	579	$^1/_{828}$ "	$^1/_{13200}$ "	$^1/_{4000}$ "
4. Desgl.	332	$^1/_{556}$ "	$^1/_{8850}$ "	$^1/_{2800}$ "
5. 0,01 Millimeter eines Glasmikrometers . .	910	$^1/_{2280}$ "	$^1/_{34500}$ "	$^1/_{10700}$ "
6. Abstand zwischen zwei Streifchen auf einem ganz kleinen Flügelschüppchen von *Lepisma saccharinum*	910	$^1/_{4550}$ "	$^1/_{75800}$ "	$^1/_{24000}$ "

Es ist klar, dass hier ebenfalls die Genauigkeit zunehmen muss, wenn eine stärkere Vergrösserung und ein kleineres Object zur Anwendung kommen, und dies erhellt auch deutlich genug aus den überstehenden Zahlen. Zugleich ergiebt sich aber auch aus diesen Zahlen, dass diese Methode, die einfachste unter allen mikrometrischen Methoden und überdies auch die am allgemeinsten anwendbare, zudem beim einfachen wie beim zusammengesetzten Mikroskope zulässige, sich auch durch grosse Genauigkeit empfiehlt, worin sie sogar die übrigen, mit alleiniger Ausnahme des Ocularschraubenmikrometers, übertrifft. Begreiflicher Weise ist aber diese Genauigkeit nur nach vieler Uebung zu erlangen. Wer sich indessen im Doppelsehen eine ausreichende Fertigkeit zu eigen gemacht hat, der wird nur sehr selten in den Fall kommen, ein anderes Verfahren anwenden zu müssen. Es lohnt sich aber um so mehr der Mühe, diese Fertigkeit sich anzueignen, weil keine der anderen Methoden in der Raschheit der Ausführung mit dem Doppelsehen wetteifern kann, was doch gar sehr ins Gewicht fällt, wenn man eine grössere Anzahl Messungen vornehmen muss, aus denen ein Mittelwerth genommen werden soll.

Um 20 Messungen des nämlichen Blutkörperchens auszuführen, waren nöthig:

20 bis 30 Minuten mit verschiedenen Schraubenmikrometern,
18 Minuten mit dem tragbaren Sonnenmikroskope,
16 Minuten mit dem Sömmering'schen Spiegelchen,
11 Minuten beim Doppelsehen.

Natürlich verlangt die Anwendung des Schraubenmikrometers aber selbst noch mehr Zeit, wenn grössere Objecte gemessen werden.

Bei der Wahl einer mikrometrischen Methode handelt es sich aber 362
um noch eine andere Frage, nämlich: welcher Grad von Genauigkeit wird dabei für einen bestimmten Zweck verlangt? Soll durch eine einzige Messung eines Objects dessen Durchmesser möglichst genau ermittelt werden, so wird natürlich die genaueste Methode auch unbedingt die beste sein. Soll z. B. die relative Grösse eines Luftbläschens und des Bildes eines darunter liegenden Gegenstandes bestimmt werden, um daraus das Brechungsvermögen der das Luftbläschen umgebenden Flüssigkeit zu berechnen (§. 336), so wird man dem Ocularschraubenmikrometer vor allen anderen Hülfsmitteln den Vorzug einräumen müssen. Bei organischen Objecten, wo es sich um einen Mittelwerth handelt, den man aus einer stets nur kleinen Zahl von Messungen verschiedener Körper gewinnt, kommt aber auch noch etwas anderes in Betracht: man muss die Grösse des wahrscheinlichen Fehlers kennen, der einem solchen Mittelwerthe stets anklebt und der in einzelnen Fällen grösser sein kann, als der wahrscheinliche Fehler bei Anwendung einer bestimmten mikrometrischen Methode. Um zu entdecken, ob diese Voraussetzung wirklich eine begründete ist, habe ich folgende Messungen mit dem Ocularschrau-

benmikrometer ausgeführt, und daraus den wahrscheinlichen Fehler des Mittelwerthes berechnet.

Object.	Anzahl der Messungen.	Mittlerer Durchmesser in Mikromillim.	Mittlerer Durchmesser in Millim.	Wahrscheinlicher Fehler in Millim.
1. Bindegewebsfasern	10	1,1	$^1/_{909}$	$^1/_{17000}$
2. Blutkörperchen eines Mannes	15	7,7	$^1/_{130}$	$^1/_{6000}$
3. Primitivbündel des Gastrocnemius eines Neugebornen	20	5,8	$^1/_{173}$	$^1/_{4170}$
4. Primitivröhren des Medianus eines Mannes	15	16,6	$^1/_{60}$	$^1/_{980}$
5. Primitivbündel des Psoas eines Erwachsenen	21	51,6	$^1/_{19}$	$^1/_{500}$

Man ersieht hieraus sogleich, dass, wenn der Durchmesser der organischen Elementartheile grösser ist, auch der wahrscheinliche Fehler in der Regel grösser ausfällt, und dass derselbe, wenn die Zahl der Messungen noch viel weiter geht als in der vorstehenden Tabelle, bei organischen Objecten mit einem Durchmesser von $^1/_{60}$ bis $^1/_{20}$ Millimeter in der That eine Grösse erreicht, welche den wahrscheinlichen Fehler aller bisher beschriebenen mikrometrischen Methoden noch übertrifft. Beim Messen solcher Objecte ist es daher, was die Genauigkeit des Resultats betrifft, ganz gleichgültig, welcher von diesen Methoden man den Vorzug giebt.

Anders verhält es sich mit den Objecten, die einen geringeren Durchmesser haben, z. B. mit Blutkörperchen, mit den Primitivfasern des Bindegewebes, der Sehnen, der Muskeln u. s. w. Sollen Objecte von so geringem Durchmesser gemessen werden, dann ist die Wahl eine weit beschränktere, da nothwendiger Weise alle jene Methoden ausgeschlossen werden müssen, bei denen der wahrscheinliche Fehler einen merklichen Einfluss auf das Endresultat der Messung haben kann. Dies ist nicht blos der Fall mit der verschiedenartigen Weise, wie Glasmikrometer zum Messen benutzt werden; das Nämliche gilt auch von den Objecttischschraubenmikrometern, da deren wahrscheinlicher Fehler, schon wenn ein und dasselbe Blutkörperchen gemessen wird, mehr als das Doppelte beträgt von dem wahrscheinlichen Fehler des Mittelwerthes, der aus den Messungen einer Anzahl verschiedener Blutkörperchen hergeleitet wurde.

Ist der Durchmesser der Objecte noch kleiner, so tritt dieser Einfluss noch mehr hervor; daher man in allen solchen Fällen seine Zuflucht zu noch genaueren Hülfsmitteln nehmen muss, unter denen zwar das Ocularschraubenmikrometer obenansteht, dem aber die *Camera lucida*, da Sömmerring'sche Spiegelchen, das Sonnenmikroskop und vorzüglich das Doppelsehen fast parallel gehen.

363 Aus der Grösse des wahrscheinlichen Fehlers bei Bestimmung des mittlern Durchmessers organischer Objecte, eines Fehlers, der gar nicht

zu umgehen ist und sich nur dann einigermaassen beseitigen lässt, wenn eine weit grössere Zahl von Messungen zum Auffinden des Mittelwerthes ausgeführt wird, ergiebt sich aber auch noch soviel, dass es ganz nutzlos ist, wenn man bei solchen mikrometrischen Grössen bestimmte Grenzen in der Bezifferung überschreitet. Für die Muskelprimitivbündel des Erwachsenen wurde z. B. der mittlere Durchmesser = 51,6^{mmm} gefunden, mit einem wahrscheinlichen Fehler von $^1/_{500}$ Millimeter oder 2^{mmm}, womit soviel gesagt ist, dass es gleich wahrscheinlich ist, der Durchmesser beträgt 49,6 oder er beträgt 53,6^{mmm}. Zehntausendstel des Millimeters anzugeben ist in einem solchen Falle eine ganz überflüssige und blos scheinbare Genauigkeit; man kann sich hier gut und gern auf Mikromillimeter beschränken.

Bei dem kleinsten in der vorhergehenden Tabelle genannten Objecte beträgt der mittlere Durchmesser 1,1^{mmm}, mit einem wahrscheinlichen Fehler von $^1/_{17000}{}^{mm}$ oder 0,06^{mmm}; die Grenzen also, zwischen denen der wahre Durchmesser liegen muss, sind 1,04 und 1,16. Hier müssen also auch die Zehntausendstel des Millimeters mit in den Ausdruck aufgenommen werden. Man darf aber auch mit Sicherheit annehmen, dass dies bei organischen Objecten die äusserste Grenze ist, bis wohin man die Genauigkeit des Ausdrucks treiben darf.

Diese Grenzen habe ich daher auch bei Berechnung der folgenden Tabelle eingehalten. Ich gehe darin vom Mikromillimeter aus, und füge die gleichnamigen Werthe in Millimetern, in Pariser, Wiener und Englischen Zollen sowie in Pariser Linien bei, und zwar immer gleichzeitig in Decimalen und in gemeinen Brüchen. Bei der Linie sind Hunderttausendstel, bei den Zollen Millionstel mit aufgeführt worden, wenngleich in den meisten Fällen die letzte Decimalzahl unbedenklich kann weggelassen werden.

Reductionstafel der mikrometrischen Maasse.

mmm.	Millimeter.	Pariser Zoll.	Pariser Linie.	Englischer Zoll	Wiener Zoll.
0,1	0,0001 $\frac{1}{10000}$	0,000004 $\frac{1}{271000}$	0,00004 $\frac{1}{22570}$	0,000004 $\frac{1}{255000}$	0,000004 $\frac{1}{263500}$
0,2	0,0002 $\frac{1}{5000}$	0,000007 $\frac{1}{136000}$	0,00009 $\frac{1}{11280}$	0,000008 $\frac{1}{127000}$	0,000008 $\frac{1}{131750}$
0,3	0,0003 $\frac{1}{3333}$	0,000011 $\frac{1}{91000}$	0,00013 $\frac{1}{7530}$	0,000012 $\frac{1}{85000}$	0,000011 $\frac{1}{88200}$
0,4	0,0004 $\frac{1}{2500}$	0,000015 $\frac{1}{67900}$	0,00018 $\frac{1}{5640}$	0,000016 $\frac{1}{63500}$	0,000015 $\frac{1}{65700}$
0,5	0,0005 $\frac{1}{2000}$	0,000018 $\frac{1}{54100}$	0,00022 $\frac{1}{4500}$	0,000020 $\frac{1}{50800}$	0,000019 $\frac{1}{52700}$
0,6	0,0006 $\frac{1}{1666}$	0,000022 $\frac{1}{45000}$	0,00027 $\frac{1}{3760}$	0,000024 $\frac{1}{42300}$	0,000023 $\frac{1}{34900}$
0,7	0,0007 $\frac{1}{1429}$	0,000026 $\frac{1}{38700}$	0,00031 $\frac{1}{3220}$	0,000028 $\frac{1}{36300}$	0,000027 $\frac{1}{37600}$
0,8	0,0008 $\frac{1}{1250}$	0,000030 $\frac{1}{33900}$	0,00035 $\frac{1}{2820}$	0,000031 $\frac{1}{31800}$	0,000030 $\frac{1}{32900}$
0,9	0,0009 $\frac{1}{1111}$	0,000033 $\frac{1}{30200}$	0,00040 $\frac{1}{2500}$	0,000035 $\frac{1}{28200}$	0,000034 $\frac{1}{29300}$
1,0	0,0010 $\frac{1}{1000}$	0,000037 $\frac{1}{27100}$	0,00044 $\frac{1}{2257}$	0,000039 $\frac{1}{25500}$	0,000038 $\frac{1}{26350}$
1,1	0,0011 $\frac{1}{909}$	0,000041 $\frac{1}{24600}$	0,00048 $\frac{1}{2083}$	0,000043 $\frac{1}{23100}$	0,000042 $\frac{1}{24000}$
1,2	0,0012 $\frac{1}{833}$	0,000044 $\frac{1}{22600}$	0,00053 $\frac{1}{1880}$	0,000047 $\frac{1}{21200}$	0,000046 $\frac{1}{21950}$
1,3	0,0013 $\frac{1}{769}$	0,000048 $\frac{1}{20900}$	0,00057 $\frac{1}{1755}$	0,000051 $\frac{1}{19500}$	0,000049 $\frac{1}{20260}$
1,4	0,0014 $\frac{1}{714}$	0,000052 $\frac{1}{19300}$	0,00062 $\frac{1}{1613}$	0,000055 $\frac{1}{18100}$	0,000053 $\frac{1}{18820}$
1,5	0,0015 $\frac{1}{666}$	0,000055 $\frac{1}{18100}$	0,00066 $\frac{1}{1515}$	0,000059 $\frac{1}{16900}$	0,000057 $\frac{1}{17560}$
1,6	0,0016 $\frac{1}{625}$	0,000059 $\frac{1}{16900}$	0,00070 $\frac{1}{1408}$	0,000063 $\frac{1}{15900}$	0,000061 $\frac{1}{16460}$
1,7	0,0017 $\frac{1}{588}$	0,000063 $\frac{1}{15800}$	0,00075 $\frac{1}{1333}$	0,000067 $\frac{1}{15000}$	0,000065 $\frac{1}{15500}$

mmm.	Millimeter.	Pariser Zoll.	Pariser Linie.	Englischer Zoll	Wiener Zoll.
1,8	0,0018	0,000066	0,00079	0,000071	0,000068
	$\frac{1}{555}$	$\frac{1}{15100}$	$\frac{1}{1260}$	$\frac{1}{14100}$	$\frac{1}{14750}$
1,9	0,0019	0,000070	0,00084	0,000075	0,000072
	$\frac{1}{526}$	$\frac{1}{14200}$	$\frac{1}{1190}$	$\frac{1}{13300}$	$\frac{1}{13870}$
2,0	0,0020	0,000074	0,00090	0,000079	0,000076
	$\frac{1}{500}$	$\frac{1}{13600}$	$\frac{1}{1128}$	$\frac{1}{12700}$	$\frac{1}{13170}$
2,1	0,0021	0,000077	0,00093	0,000083	0,000080
	$\frac{1}{476}$	$\frac{1}{12900}$	$\frac{1}{1074}$	$\frac{1}{12100}$	$\frac{1}{12540}$
2,2	0,0022	0,000081	0,00098	0,000087	0,000084
	$\frac{1}{455}$	$\frac{1}{12300}$	$\frac{1}{1027}$	$\frac{1}{11500}$	$\frac{1}{11960}$
2,3	0,0023	0,000085	0,00102	0,000090	0,000087
	$\frac{1}{435}$	$\frac{1}{11800}$	$\frac{1}{981}$	$\frac{1}{11050}$	$\frac{1}{11460}$
2,4	0,0024	0,000089	0,00106	0,000094	0,000091
	$\frac{1}{417}$	$\frac{1}{11300}$	$\frac{1}{943}$	$\frac{1}{10590}$	$\frac{1}{10980}$
2,5	0,0025	0,000092	0,00111	0,000098	0,000095
	$\frac{1}{400}$	$\frac{1}{10800}$	$\frac{1}{903}$	$\frac{1}{10170}$	$\frac{1}{10540}$
2,6	0,0026	0,000096	0,00115	0,000102	0,000099
	$\frac{1}{384}$	$\frac{1}{10400}$	$\frac{1}{869}$	$\frac{1}{9790}$	$\frac{1}{10010}$
2,7	0,0027	0,000100	0,00120	0,000106	0,000103
	$\frac{1}{370}$	$\frac{1}{10000}$	$\frac{1}{836}$	$\frac{1}{9440}$	$\frac{1}{9760}$
2,8	0,0028	0,000103	0,00124	0,000110	0,000106
	$\frac{1}{357}$	$\frac{1}{9700}$	$\frac{1}{807}$	$\frac{1}{9080}$	$\frac{1}{9390}$
2,9	0,0029	0,000107	0,00128	0,000114	0,000110
	$\frac{1}{345}$	$\frac{1}{9400}$	$\frac{1}{779}$	$\frac{1}{8790}$	$\frac{1}{9080}$
3,0	0,0030	0,000110	0,00133	0,000118	0,000114
	$\frac{1}{333}$	$\frac{1}{9100}$	$\frac{1}{753}$	$\frac{1}{8500}$	$\frac{1}{8820}$
3,1	0,0031	0,000114	0,00137	0,000122	0,000118
	$\frac{1}{323}$	$\frac{1}{8760}$	$\frac{1}{728}$	$\frac{1}{8190}$	$\frac{1}{8490}$
3,2	0,0032	0,000118	0,00142	0,000126	0,000122
	$\frac{1}{313}$	$\frac{1}{8470}$	$\frac{1}{705}$	$\frac{1}{7980}$	$\frac{1}{8230}$
3,3	0,0033	0,000122	0,00146	0,000130	0,000125
	$\frac{1}{303}$	$\frac{1}{8210}$	$\frac{1}{684}$	$\frac{1}{7770}$	$\frac{1}{7980}$
3,4	0,0034	0,000125	0,00151	0,000134	0,000129
	$\frac{1}{294}$	$\frac{1}{7970}$	$\frac{1}{664}$	$\frac{1}{7510}$	$\frac{1}{7750}$
3,5	0,0035	0,000129	0,00155	0,000138	0,000133
	$\frac{1}{286}$	$\frac{1}{7740}$	$\frac{1}{645}$	$\frac{1}{7250}$	$\frac{1}{7520}$

mmm.	Millimeter.	Pariser Zoll.	Pariser Linie.	Englischer Zoll	Wiener Zoll.
3,6	0,0036 $\frac{1}{278}$	0,000133 $\frac{1}{7530}$	0,00159 $\frac{1}{626}$	0,000142 $\frac{1}{7060}$	0,000137 $\frac{1}{7320}$
3,7	0,0037 $\frac{1}{270}$	0,000137 $\frac{1}{7320}$	0,00164 $\frac{1}{607}$	0,000146 $\frac{1}{6870}$	0,000141 $\frac{1}{7120}$
3,8	0,0038 $\frac{1}{263}$	0,000140 $\frac{1}{7130}$	0,00168 $\frac{1}{594}$	0,000150 $\frac{1}{6700}$	0,000144 $\frac{1}{6930}$
3,9	0,0039 $\frac{1}{256}$	0,000144 $\frac{1}{6940}$	0,00173 $\frac{1}{579}$	0,000154 $\frac{1}{6530}$	0,000148 $\frac{1}{6750}$
4,0	0,0040 $\frac{1}{250}$	0,000148 $\frac{1}{6790}$	0,00177 $\frac{1}{564}$	0,000158 $\frac{1}{6350}$	0,000152 $\frac{1}{6570}$
4,1	0,0041 $\frac{1}{244}$	0,000151 $\frac{1}{6610}$	0,00182 $\frac{1}{551}$	0,000161 $\frac{1}{6190}$	0,000156 $\frac{1}{6430}$
4,2	0,0042 $\frac{1}{239}$	0,000155 $\frac{1}{6460}$	0,00186 $\frac{1}{537}$	0,000165 $\frac{1}{6050}$	0,000159 $\frac{1}{6270}$
4,3	0,0043 $\frac{1}{233}$	0,000159 $\frac{1}{6300}$	0,00191 $\frac{1}{525}$	0,000169 $\frac{1}{5910}$	0,000163 $\frac{1}{6120}$
4,4	0,0044 $\frac{1}{228}$	0,000162 $\frac{1}{6160}$	0,00195 $\frac{1}{513}$	0,000173 $\frac{1}{5770}$	0,000167 $\frac{1}{5980}$
4,5	0,0045 $\frac{1}{222}$	0,000166 $\frac{1}{6020}$	0,00199 $\frac{1}{502}$	0,000177 $\frac{1}{5640}$	0,000171 $\frac{1}{5850}$
4,6	0,0046 $\frac{1}{217}$	0,000170 $\frac{1}{5890}$	0,00204 $\frac{1}{491}$	0,000181 $\frac{1}{5520}$	0,000175 $\frac{1}{5730}$
4,7	0,0047 $\frac{1}{213}$	0,000173 $\frac{1}{5760}$	0,00208 $\frac{1}{480}$	0,000185 $\frac{1}{5400}$	0,000178 $\frac{1}{5610}$
4,8	0,0048 $\frac{1}{209}$	0,000177 $\frac{1}{5650}$	0,00213 $\frac{1}{470}$	0,000189 $\frac{1}{5290}$	0,000182 $\frac{1}{5490}$
4,9	0,0049 $\frac{1}{204}$	0,000181 $\frac{1}{5520}$	0,00217 $\frac{1}{460}$	0,000193 $\frac{1}{5180}$	0,000186 $\frac{1}{5380}$
5,0	0,0050 $\frac{1}{200}$	0,000185 $\frac{1}{5410}$	0,00222 $\frac{1}{450}$	0,000197 $\frac{1}{5080}$	0,000190 $\frac{1}{5270}$
5,1	0,0051 $\frac{1}{196}$	0,000188 $\frac{1}{5310}$	0,00226 $\frac{1}{442}$	0,000201 $\frac{1}{4980}$	0,000194 $\frac{1}{5170}$
5,2	0,0052 $\frac{1}{192}$	0,000192 $\frac{1}{5200}$	0,00231 $\frac{1}{434}$	0,000205 $\frac{1}{4890}$	0,000197 $\frac{1}{5070}$
5,3	0,0053 $\frac{1}{189}$	0,000196 $\frac{1}{5110}$	0,00235 $\frac{1}{427}$	0,000209 $\frac{1}{4800}$	0,000201 $\frac{1}{4970}$

mmm.	Millimeter.	Pariser Zoll.	Pariser Linie.	Englischer Zoll	Wiener Zoll.
5,4	0,0054 $\frac{1}{185}$	0,000200 $\frac{1}{5000}$	0,00239 $\frac{1}{419}$	0,000213 $\frac{1}{4710}$	0,000205 $\frac{1}{4880}$
5,5	0,0055 $\frac{1}{182}$	0,000203 $\frac{1}{4920}$	0,00244 $\frac{1}{411}$	0,000217 $\frac{1}{4620}$	0,000209 $\frac{1}{4800}$
5,6	0,0056 $\frac{1}{179}$	0,000207 $\frac{1}{4830}$	0,00248 $\frac{1}{403}$	0,000221 $\frac{1}{4540}$	0,000213 $\frac{1}{4710}$
5,7	0,0057 $\frac{1}{176}$	0,000211 $\frac{1}{4750}$	0,00253 $\frac{1}{396}$	0,000225 $\frac{1}{4460}$	0,000216 $\frac{1}{4620}$
5,8	0,0058 $\frac{1}{172}$	0,000214 $\frac{1}{4670}$	0,00257 $\frac{1}{389}$	0,000228 $\frac{1}{4380}$	0,000220 $\frac{1}{4540}$
5,9	0,0059 $\frac{1}{169}$	0,000218 $\frac{1}{4590}$	0,00262 $\frac{1}{382}$	0,000232 $\frac{1}{4300}$	0,000224 $\frac{1}{4460}$
6,0	0,0060 $\frac{1}{166}$	0,000222 $\frac{1}{4500}$	0,00266 $\frac{1}{376}$	0,000236 $\frac{1}{4230}$	0,000228 $\frac{1}{4390}$
6,1	0,0061 $\frac{1}{164}$	0,000225 $\frac{1}{4440}$	0,00270 $\frac{1}{370}$	0,000240 $\frac{1}{4160}$	0,000232 $\frac{1}{4320}$
6,2	0,0062 $\frac{1}{161}$	0,000229 $\frac{1}{4370}$	0,00275 $\frac{1}{364}$	0,000244 $\frac{1}{4090}$	0,000235 $\frac{1}{4250}$
6,3	0,0063 $\frac{1}{159}$	0,000233 $\frac{1}{4300}$	0,00279 $\frac{1}{358}$	0,000248 $\frac{1}{4030}$	0,000239 $\frac{1}{4180}$
6,4	0,0064 $\frac{1}{156}$	0,000236 $\frac{1}{4230}$	0,00284 $\frac{1}{352}$	0,000252 $\frac{1}{3970}$	0,000243 $\frac{1}{4110}$
6,5	0,0065 $\frac{1}{154}$	0,000240 $\frac{1}{4160}$	0,00288 $\frac{1}{347}$	0,000256 $\frac{1}{3910}$	0,000247 $\frac{1}{4050}$
6,6	0,0066 $\frac{1}{151}$	0,000244 $\frac{1}{4100}$	0,00292 $\frac{1}{342}$	0,000260 $\frac{1}{3850}$	0,000251 $\frac{1}{3990}$
6,7	0,0067 $\frac{1}{149}$	0,000247 $\frac{1}{4040}$	0,00297 $\frac{1}{337}$	0,000264 $\frac{1}{3790}$	0,000254 $\frac{1}{3930}$
6,8	0,0068 $\frac{1}{147}$	0,000251 $\frac{1}{3990}$	0,00301 $\frac{1}{332}$	0,000268 $\frac{1}{3730}$	0,000258 $\frac{1}{3860}$
6,9	0,0069 $\frac{1}{145}$	0,000255 $\frac{1}{3930}$	0,00306 $\frac{1}{327}$	0,000272 $\frac{1}{3680}$	0,000262 $\frac{1}{3790}$
7,0	0,0070 $\frac{1}{143}$	0,000258 $\frac{1}{3870}$	0,00310 $\frac{1}{322}$	0,000276 $\frac{1}{3630}$	0,000266 $\frac{1}{3760}$
7,1	0,0071 $\frac{1}{141}$	0,000262 $\frac{1}{3820}$	0,00314 $\frac{1}{318}$	0,000280 $\frac{1}{3570}$	0,000270 $\frac{1}{3710}$

mmm.	Millimeter.	Pariser Zoll.	Pariser Linie.	Englischer Zoll	Wiener Zoll.
7,2	0,0072 $\frac{1}{139}$	0,000266 $\frac{1}{3760}$	0,00319 $\frac{1}{314}$	0,000284 $\frac{1}{3520}$	0,000273 $\frac{1}{3660}$
7,3	0,0073 $\frac{1}{137}$	0,000270 $\frac{1}{3700}$	0,00323 $\frac{1}{310}$	0,000287 $\frac{1}{3470}$	0,000277 $\frac{1}{3610}$
7,4	0,0074 $\frac{1}{135}$	0,000273 $\frac{1}{3650}$	0,00328 $\frac{1}{306}$	0,000291 $\frac{1}{3430}$	0,000281 $\frac{1}{3560}$
7,5	0,0075 $\frac{1}{133}$	0,000277 $\frac{1}{3610}$	0,00332 $\frac{1}{302}$	0,000295 $\frac{1}{3380}$	0,000285 $\frac{1}{3516}$
7,6	0,0076 $\frac{1}{132}$	0,000281 $\frac{1}{3560}$	0,00337 $\frac{1}{298}$	0,000299 $\frac{1}{3340}$	0,000289 $\frac{1}{3460}$
7,7	0,0077 $\frac{1}{130}$	0,000284 $\frac{1}{3520}$	0,00341 $\frac{1}{293}$	0,000303 $\frac{1}{3300}$	0,000292 $\frac{1}{3420}$
7,8	0,0078 $\frac{1}{128}$	0,000288 $\frac{1}{3470}$	0,00345 $\frac{1}{289}$	0,000307 $\frac{1}{3260}$	0,000296 $\frac{1}{3370}$
7,9	0,0079 $\frac{1}{127}$	0,000292 $\frac{1}{3430}$	0,00350 $\frac{1}{285}$	0,000311 $\frac{1}{3220}$	0,000300 $\frac{1}{3333}$
8,0	0,0080 $\frac{1}{125}$	0,000296 $\frac{1}{3390}$	0,00355 $\frac{1}{282}$	0,000315 $\frac{1}{3180}$	0,000304 $\frac{1}{3290}$
8,1	0,0081 $\frac{1}{123}$	0,000299 $\frac{1}{3340}$	0,00359 $\frac{1}{279}$	0,000319 $\frac{1}{3140}$	0,000308 $\frac{1}{3250}$
8,2	0,0082 $\frac{1}{122}$	0,000303 $\frac{1}{3300}$	0,00363 $\frac{1}{274}$	0,000323 $\frac{1}{3100}$	0,000311 $\frac{1}{3210}$
8,3	0,0083 $\frac{1}{120}$	0,000307 $\frac{1}{3260}$	0,00368 $\frac{1}{270}$	0,000327 $\frac{1}{3060}$	0,000315 $\frac{1}{3170}$
8,4	0,0084 $\frac{1}{119}$	0,000310 $\frac{1}{3220}$	0,00372 $\frac{1}{267}$	0,000331 $\frac{1}{3020}$	0,000319 $\frac{1}{3140}$
8,5	0,0085 $\frac{1}{118}$	0,000314 $\frac{1}{3180}$	0,00377 $\frac{1}{265}$	0,000335 $\frac{1}{2980}$	0,000323 $\frac{1}{3100}$
8,6	0,0086 $\frac{1}{116}$	0,000318 $\frac{1}{3150}$	0,00381 $\frac{1}{262}$	0,000339 $\frac{1}{2950}$	0,000327 $\frac{1}{3060}$
8,7	0,0087 $\frac{1}{115}$	0,000321 $\frac{1}{3110}$	0,00386 $\frac{1}{259}$	0,000342 $\frac{1}{2920}$	0,000330 $\frac{1}{3030}$
8,8	0,0088 $\frac{1}{114}$	0,000325 $\frac{1}{3080}$	0,00390 $\frac{1}{256}$	0,000346 $\frac{1}{2880}$	0,000334 $\frac{1}{2990}$
8,9	0,0089 $\frac{1}{112}$	0,000329 $\frac{1}{3050}$	0,00395 $\frac{1}{253}$	0,000350 $\frac{1}{2850}$	0,000338 $\frac{1}{2960}$

mmm.	Millimeter.	Pariser Zoll.	Pariser Linie.	Englischer Zoll	Wiener Zoll.
9,0	0,0090 $\frac{1}{111}$	0,000333 $\frac{1}{3010}$	0,00399 $\frac{1}{250}$	0,000354 $\frac{1}{2820}$	0,000342 $\frac{1}{2930}$
9,1	0,0091 $\frac{1}{110}$	0,000336 $\frac{1}{2980}$	0,00403 $\frac{1}{248}$	0,000358 $\frac{1}{2790}$	0,000345 $\frac{1}{2900}$
9,2	0,0092 $\frac{1}{109}$	0,000340 $\frac{1}{2950}$	0,00408 $\frac{1}{245}$	0,000362 $\frac{1}{2760}$	0,000349 $\frac{1}{2860}$
9,3	0,0093 $\frac{1}{108}$	0,000344 $\frac{1}{2910}$	0,00412 $\frac{1}{242}$	0,000366 $\frac{1}{2730}$	0,000353 $\frac{1}{2830}$
9,4	0,0094 $\frac{1}{106}$	0,000347 $\frac{1}{2880}$	0,00417 $\frac{1}{240}$	0,000370 $\frac{1}{2700}$	0,000357 $\frac{1}{2800}$
9,5	0,0095 $\frac{1}{105}$	0,000351 $\frac{1}{2850}$	0,00421 $\frac{1}{237}$	0,000374 $\frac{1}{2670}$	0,000361 $\frac{1}{2770}$
9,6	0,0096 $\frac{1}{104}$	0,000354 $\frac{1}{2820}$	0,00425 $\frac{1}{235}$	0,000378 $\frac{1}{2640}$	0,000364 $\frac{1}{2740}$
9,7	0,0097 $\frac{1}{103}$	0,000358 $\frac{1}{2790}$	0,00430 $\frac{1}{233}$	0,000382 $\frac{1}{2620}$	0,000368 $\frac{1}{2710}$
9,8	0,0098 $\frac{1}{102}$	0,000362 $\frac{1}{2760}$	0,00434 $\frac{1}{230}$	0,000386 $\frac{1}{2590}$	0,000372 $\frac{1}{2680}$
9,9	0,0099 $\frac{1}{101}$	0,000366 $\frac{1}{2730}$	0,00439 $\frac{1}{228}$	0,000390 $\frac{1}{2570}$	0,000376 $\frac{1}{2650}$
10,0	0,0100 $\frac{1}{100}$	0,000369 $\frac{1}{2710}$	0,00442 $\frac{1}{226}$	0,000394 $\frac{1}{2550}$	0,000380 $\frac{1}{2635}$
10,2	0,0102 $\frac{1}{98}$	0,000376 $\frac{1}{2660}$	0,00452 $\frac{1}{222}$	0,000402 $\frac{1}{2490}$	0,000388 $\frac{1}{2580}$
10,4	0,0104 $\frac{1}{96}$	0,000384 $\frac{1}{2610}$	0,00461 $\frac{1}{219}$	0,000410 $\frac{1}{2460}$	0,000395 $\frac{1}{2530}$
10,6	0,0106 $\frac{1}{94}$	0,000391 $\frac{1}{2560}$	0,00470 $\frac{1}{215}$	0,000418 $\frac{1}{2410}$	0,000403 $\frac{1}{2480}$
10,8	0,0108 $\frac{1}{92}$	0,000397 $\frac{1}{2510}$	0,00479 $\frac{1}{212}$	0,000426 $\frac{1}{2360}$	0,000411 $\frac{1}{2440}$
11,0	0,0110 $\frac{1}{91}$	0,000406 $\frac{1}{2460}$	0,00487 $\frac{1}{208}$	0,000433 $\frac{1}{2310}$	0,000418 $\frac{1}{2400}$
11,2	0,0112 $\frac{1}{89}$	0,000413 $\frac{1}{2420}$	0,00496 $\frac{1}{204}$	0,000441 $\frac{1}{2270}$	0,000426 $\frac{1}{2350}$
11,4	0,0114 $\frac{1}{87}$	0,000421 $\frac{1}{2380}$	0,00505 $\frac{1}{200}$	0,000449 $\frac{1}{2230}$	0,000433 $\frac{1}{2310}$

mmm.	Millimeter.	Pariser Zoll.	Pariser Linie.	Englischer Zoll	Wiener Zoll.
11,6	0,0116	0,000428	0,00514	0,000457	0,000441
	$\frac{1}{85}$	$\frac{1}{2340}$	$\frac{1}{196}$	$\frac{1}{2200}$	$\frac{1}{2265}$
11,8	0,0118	0,000436	0,00523	0,000465	0,000449
	$\frac{1}{84}$	$\frac{1}{2300}$	$\frac{1}{192}$	$\frac{1}{2160}$	$\frac{1}{2230}$
12,0	0,0120	0,000443	0,00532	0,000473	0,000456
	$\frac{1}{83}$	$\frac{1}{2260}$	$\frac{1}{188}$	$\frac{1}{2120}$	$\frac{1}{2195}$
12,2	0,0122	0,000450	0,00540	0,000481	0,000464
	$\frac{1}{82}$	$\frac{1}{2220}$	$\frac{1}{184}$	$\frac{1}{2080}$	$\frac{1}{2140}$
12,4	0,0124	0,000458	0,00548	0,000489	0,000472
	$\frac{1}{80}$	$\frac{1}{2180}$	$\frac{1}{181}$	$\frac{1}{2030}$	$\frac{1}{2110}$
12,6	0,0126	0,000465	0,00557	0,000498	0,000480
	$\frac{1}{79}$	$\frac{1}{2150}$	$\frac{1}{179}$	$\frac{1}{2000}$	$\frac{1}{2080}$
12,8	0,0128	0,000473	0,00566	0,000505	0,000487
	$\frac{1}{78}$	$\frac{1}{2120}$	$\frac{1}{177}$	$\frac{1}{1970}$	$\frac{1}{2050}$
13,0	0,0130	0,000480	0,00574	0,000512	0,000494
	$\frac{1}{77}$	$\frac{1}{2090}$	$\frac{1}{175}$	$\frac{1}{1950}$	$\frac{1}{2026}$
13,2	0,0132	0,000487	0,00583	0,000520	0,000502
	$\frac{1}{76}$	$\frac{1}{2050}$	$\frac{1}{172}$	$\frac{1}{1920}$	$\frac{1}{1990}$
13,4	0,0134	0,000495	0,00591	0,000528	0,000510
	$\frac{1}{75}$	$\frac{1}{2030}$	$\frac{1}{169}$	$\frac{1}{1890}$	$\frac{1}{1960}$
13,6	0,0136	0,000502	0,00600	0,000536	0,000517
	$\frac{1}{73}$	$\frac{1}{2000}$	$\frac{1}{166}$	$\frac{1}{1860}$	$\frac{1}{1930}$
13,8	0,0138	0,000509	0,00608	0,000544	0,000524
	$\frac{1}{72}$	$\frac{1}{1970}$	$\frac{1}{163}$	$\frac{1}{1830}$	$\frac{1}{1900}$
14,0	0,0140	0,000517	0,00616	0,000552	0,000531
	$\frac{1}{71}$	$\frac{1}{1930}$	$\frac{1}{161}$	$\frac{1}{1810}$	$\frac{1}{1882}$
14,2	0,0142	0,000524	0,00625	0,000560	0,000539
	$\frac{1}{70}$	$\frac{1}{1900}$	$\frac{1}{159}$	$\frac{1}{1780}$	$\frac{1}{1856}$
14,4	0,0144	0,000532	0,00634	0,000568	0,000547
	$\frac{1}{69}$	$\frac{1}{1870}$	$\frac{1}{157}$	$\frac{1}{1760}$	$\frac{1}{1831}$
14,6	0,0146	0,000539	0,00642	0,000576	0,000554
	$\frac{1}{68}$	$\frac{1}{1850}$	$\frac{1}{155}$	$\frac{1}{1730}$	$\frac{1}{1806}$
14,8	0,0148	0,000547	0,00651	0,000584	0,000562
	$\frac{1}{67}$	$\frac{1}{1830}$	$\frac{1}{153}$	$\frac{1}{1710}$	$\frac{1}{1781}$
15,0	0,0150	0,000554	0,00660	0,000591	0,000569
	$\frac{1}{67}$	$\frac{1}{1810}$	$\frac{1}{152}$	$\frac{1}{1690}$	$\frac{1}{1756}$

mmm.	Millimeter.	Pariser Zoll.	Pariser Linie.	Englischer Zoll	Wiener Zoll.
15,2	0,0152	0,000561	0,00669	0,000599	0,000577
	$\frac{1}{66}$	$\frac{1}{1780}$	$\frac{1}{149}$	$\frac{1}{1670}$	$\frac{1}{1731}$
15,4	0,0154	0,000569	0,00678	0,000607	0,000584
	$\frac{1}{65}$	$\frac{1}{1750}$	$\frac{1}{147}$	$\frac{1}{1650}$	$\frac{1}{1711}$
15,6	0,0156	0,000576	0,00687	0,000615	0,000592
	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{1730}$	$\frac{1}{145}$	$\frac{1}{1630}$	$\frac{1}{1689}$
15,8	0,0158	0,000584	0,00696	0,000623	0,000600
	$\frac{1}{63}$	$\frac{1}{1710}$	$\frac{1}{143}$	$\frac{1}{1610}$	$\frac{1}{1666}$
16,0	0,0160	0,000590	0,00704	0,000630	0,000607
	$\frac{1}{63}$	$\frac{1}{1690}$	$\frac{1}{141}$	$\frac{1}{1590}$	$\frac{1}{1646}$
16,2	0,0162	0,000597	0,00713	0,000638	0,000615
	$\frac{1}{62}$	$\frac{1}{1660}$	$\frac{1}{139}$	$\frac{1}{1570}$	$\frac{1}{1626}$
16,4	0,0164	0,000605	0,00722	0,000646	0,000622
	$\frac{1}{61}$	$\frac{1}{1640}$	$\frac{1}{137}$	$\frac{1}{1550}$	$\frac{1}{1606}$
16,6	0,0166	0,000612	0,00731	0,000654	0,000630
	$\frac{1}{60}$	$\frac{1}{1620}$	$\frac{1}{136}$	$\frac{1}{1530}$	$\frac{1}{1585}$
16,8	0,0168	0,000620	0,00740	0,000662	0,000638
	$\frac{1}{59}$	$\frac{1}{1600}$	$\frac{1}{134}$	$\frac{1}{1510}$	$\frac{1}{1567}$
17,0	0,0170	0,000627	0,00748	0,000670	0,000645
	$\frac{1}{59}$	$\frac{1}{1580}$	$\frac{1}{133}$	$\frac{1}{1500}$	$\frac{1}{1550}$
17,2	0,0172	0,000634	0,00757	0,000678	0,000653
	$\frac{1}{58}$	$\frac{1}{1560}$	$\frac{1}{131}$	$\frac{1}{1480}$	$\frac{1}{1530}$
17,4	0,0174	0,000642	0,00766	0,000686	0,000660
	$\frac{1}{57}$	$\frac{1}{1540}$	$\frac{1}{130}$	$\frac{1}{1460}$	$\frac{1}{1520}$
17,6	0,0176	0,000649	0,00775	0,000694	0,000668
	$\frac{1}{57}$	$\frac{1}{1530}$	$\frac{1}{128}$	$\frac{1}{1440}$	$\frac{1}{1500}$
17,8	0,0178	0,000656	0,00784	0,000702	0,000675
	$\frac{1}{56}$	$\frac{1}{1520}$	$\frac{1}{127}$	$\frac{1}{1420}$	$\frac{1}{1483}$
18,0	0,0180	0,000664	0,00794	0,000709	0,000683
	$\frac{1}{56}$	$\frac{1}{1510}$	$\frac{1}{126}$	$\frac{1}{1410}$	$\frac{1}{1475}$
18,2	0,0182	0,000671	0,00803	0,000717	0,000691
	$\frac{1}{55}$	$\frac{1}{1490}$	$\frac{1}{124}$	$\frac{1}{1390}$	$\frac{1}{1457}$
18,4	0,0184	0,000679	0,00812	0,000725	0,000699
	$\frac{1}{54}$	$\frac{1}{1470}$	$\frac{1}{123}$	$\frac{1}{1370}$	$\frac{1}{1439}$
18,6	0,0186	0,000686	0,00821	0,000733	0,000706
	$\frac{1}{54}$	$\frac{1}{1450}$	$\frac{1}{122}$	$\frac{1}{1360}$	$\frac{1}{1421}$

mmm.	Millimeter.	Pariser Zoll.	Pariser Linie.	Englischer Zoll	Wiener Zoll.
18,8	0,0188 $\frac{1}{53}$	0,000694 $\frac{1}{1440}$	0,00830 $\frac{1}{120}$	0,000741 $\frac{1}{1340}$	0,000714 $\frac{1}{1413}$
19,0	0,0190 $\frac{1}{53}$	0,000701 $\frac{1}{1420}$	0,00838 $\frac{1}{119}$	0,000749 $\frac{1}{1330}$	0,000721 $\frac{1}{1387}$
19,2	0,0192 $\frac{1}{52}$	0,000708 $\frac{1}{1410}$	0,00847 $\frac{1}{117}$	0,000757 $\frac{1}{1310}$	0,000729 $\frac{1}{1372}$
19,4	0,0194 $\frac{1}{51}$	0,000716 $\frac{1}{1390}$	0,00856 $\frac{1}{116}$	0,000765 $\frac{1}{1300}$	0,000737 $\frac{1}{1356}$
19,6	0,0196 $\frac{1}{51}$	0,000723 $\frac{1}{1380}$	0,00866 $\frac{1}{115}$	0,000773 $\frac{1}{1290}$	0,000745 $\frac{1}{1342}$
19,8	0,0198 $\frac{1}{50}$	0,000731 $\frac{1}{1370}$	0,00876 $\frac{1}{114}$	0,000780 $\frac{1}{1280}$	0,000752 $\frac{1}{1330}$
20,0	0,0200 $\frac{1}{50}$	0,000738 $\frac{1}{1360}$	0,00886 $\frac{1}{113}$	0,000787 $\frac{1}{1270}$	0,000759 $\frac{1}{1317}$
20,2	0,0202 $\frac{1}{50}$	0,000745 $\frac{1}{1340}$	0,00895 $\frac{1}{111}$	0,000795 $\frac{1}{1260}$	0,000767 $\frac{1}{1304}$
20,4	0,0204 $\frac{1}{49}$	0,000752 $\frac{1}{1330}$	0,00904 $\frac{1}{110}$	0,000803 $\frac{1}{1240}$	0,000775 $\frac{1}{1291}$
20,6	0,0206 $\frac{1}{49}$	0,000760 $\frac{1}{1320}$	0,00913 $\frac{1}{109}$	0,000811 $\frac{1}{1230}$	0,000782 $\frac{1}{1278}$
20,8	0,0208 $\frac{1}{48}$	0,000767 $\frac{1}{1300}$	0,00922 $\frac{1}{108}$	0,000819 $\frac{1}{1220}$	0,000790 $\frac{1}{1266}$
21,0	0,0210 $\frac{1}{48}$	0,000775 $\frac{1}{1290}$	0,00931 $\frac{1}{107}$	0,000826 $\frac{1}{1210}$	0,000797 $\frac{1}{1254}$
21,2	0,0212 $\frac{1}{48}$	0,000782 $\frac{1}{1280}$	0,00940 $\frac{1}{106}$	0,000834 $\frac{1}{1190}$	0,000805 $\frac{1}{1242}$
21,4	0,0214 $\frac{1}{47}$	0,000789 $\frac{1}{1260}$	0,00949 $\frac{1}{105}$	0,000842 $\frac{1}{1180}$	0,000813 $\frac{1}{1230}$
21,6	0,0216 $\frac{1}{47}$	0,000797 $\frac{1}{1250}$	0,00958 $\frac{1}{104}$	0,000850 $\frac{1}{1170}$	0,000820 $\frac{1}{1218}$
21,8	0,0218 $\frac{1}{46}$	0,000804 $\frac{1}{1240}$	0,00967 $\frac{1}{103}$	0,000858 $\frac{1}{1160}$	0,000828 $\frac{1}{1207}$
22,0	0,0220 $\frac{1}{46}$	0,000812 $\frac{1}{1230}$	0,00975 $\frac{1}{103}$	0,000866 $\frac{1}{1150}$	0,000835 $\frac{1}{1196}$
22,2	0,0222 $\frac{1}{46}$	0,000819 $\frac{1}{1220}$	0,00984 $\frac{1}{102}$	0,000874 $\frac{1}{1140}$	0,000843 $\frac{1}{1185}$

mmm.	Millimeter.	Pariser Zoll.	Pariser Linie.	Englischer Zoll	Wiener Zoll.
22,4	0,0224	0,000826	0,00993	0,000882	0,000850
	$\frac{1}{45}$	$\frac{1}{1210}$	$\frac{1}{101}$	$\frac{1}{1130}$	$\frac{1}{1175}$
22,6	0,0226	0,000833	0,01002	0,000890	0,000858
	$\frac{1}{45}$	$\frac{1}{1200}$	$\frac{1}{100}$	$\frac{1}{1120}$	$\frac{1}{1165}$
22,8	0,0228	0,000840	0,01011	0,000898	0,000866
	$\frac{1}{44}$	$\frac{1}{1190}$	$\frac{1}{99}$	$\frac{1}{1110}$	$\frac{1}{1155}$
23,0	0,0230	0,000848	0,01019	0,000905	0,000873
	$\frac{1}{44}$	$\frac{1}{1180}$	$\frac{1}{98}$	$\frac{1}{1105}$	$\frac{1}{1146}$
23,2	0,0232	0,000855	0,01028	0,000913	0,000881
	$\frac{1}{44}$	$\frac{1}{1170}$	$\frac{1}{97}$	$\frac{1}{1095}$	$\frac{1}{1136}$
23,4	0,0234	0,000862	0,01037	0,000921	0,000888
	$\frac{1}{43}$	$\frac{1}{1160}$	$\frac{1}{96}$	$\frac{1}{1086}$	$\frac{1}{1126}$
23,6	0,0236	0,000870	0,01046	0,000929	0,000895
	$\frac{1}{43}$	$\frac{1}{1150}$	$\frac{1}{95}$	$\frac{1}{1077}$	$\frac{1}{1116}$
23,8	0,0238	0,000878	0,01055	0,000937	0,000903
	$\frac{1}{42}$	$\frac{1}{1140}$	$\frac{1}{94}$	$\frac{1}{1068}$	$\frac{1}{1107}$
24,0	0,0240	0,000886	0,01063	0,000944	0,000911
	$\frac{1}{42}$	$\frac{1}{1130}$	$\frac{1}{94}$	$\frac{1}{1059}$	$\frac{1}{1098}$
24,2	0,0242	0,000893	0,01072	0,000952	0,000919
	$\frac{1}{42}$	$\frac{1}{1120}$	$\frac{1}{93}$	$\frac{1}{1051}$	$\frac{1}{1089}$
24,4	0,0244	0,000900	0,01081	0,000960	0,000927
	$\frac{1}{41}$	$\frac{1}{1110}$	$\frac{1}{92}$	$\frac{1}{1043}$	$\frac{1}{1080}$
24,6	0,0246	0,000908	0,01090	0,000968	0,000935
	$\frac{1}{41}$	$\frac{1}{1100}$	$\frac{1}{91}$	$\frac{1}{1035}$	$\frac{1}{1071}$
24,8	0,0248	0,000915	0,01099	0,000974	0,000942
	$\frac{1}{40}$	$\frac{1}{1090}$	$\frac{1}{91}$	$\frac{1}{1026}$	$\frac{1}{1062}$
25,0	0,0250	0,000923	0,01107	0,000983	0,000949
	$\frac{1}{40}$	$\frac{1}{1080}$	$\frac{1}{90}$	$\frac{1}{1017}$	$\frac{1}{1054}$
25,5	0,0255	0,000941	0,01129	0,001003	0,000968
	$\frac{1}{39}$	$\frac{1}{1060}$	$\frac{1}{88}$	$\frac{1}{999}$	$\frac{1}{1033}$
26,0	0,0260	0,000959	0,01151	0,001023	0,000987
	$\frac{1}{38}$	$\frac{1}{1040}$	$\frac{1}{87}$	$\frac{1}{979}$	$\frac{1}{1013}$
26,5	0,0265	0,000977	0,01173	0,001043	0,001006
	$\frac{1}{38}$	$\frac{1}{1020}$	$\frac{1}{85}$	$\frac{1}{961}$	$\frac{1}{994}$
27,0	0,0270	0,000996	0,01195	0,001062	0,001025
	$\frac{1}{37}$	$\frac{1}{1000}$	$\frac{1}{84}$	$\frac{1}{944}$	$\frac{1}{976}$

mmm.	Millimeter.	Pariser Zoll.	Pariser Linie.	Englischer Zoll	Wiener Zoll.
27,5	0,0275	0,001014	0,01217	0,001082	0,001044
	1/36	1/985	1/82	1/926	1/957
28,0	0,0280	0,001033	0,01239	0,001102	0,001063
	1/36	1/970	1/81	1/908	1/939
28,5	0,0285	0,001051	0,01261	0,001122	0,001082
	1/35	1/955	1/79	1/883	1/923
29,0	0,0290	0,001070	0,01283	0,001141	0,001101
	1/35	1/940	1/78	1/879	1/908
29,5	0,0295	0,001088	0,01305	0,001161	0,001120
	1/34	1/925	1/76	1/861	1/895
30,0	0,0300	0,001107	0,01330	0,001180	0,001139
	1/33	1/910	1/75	1/848	1/882
30,5	0,0305	0,001126	0,01352	0,001200	0,001158
	1/33	1/894	1/74	1/833	1/865
31,0	0,0310	0,001144	0,01374	0,001220	0,001177
	1/32	1/876	1/73	1/819	1/849
31,5	0,0315	0,001162	0,01396	0,001240	0,001196
	1/32	1/861	1/72	1/808	1/836
32,0	0,0320	0,001181	0,01418	0,001260	0,001215
	1/31	1/847	1/71	1/797	1/823
32,5	0,0325	0,001199	0,01440	0,001280	0,001234
	1/31	1/834	1/70	1/780	1/810
33,0	0,0330	0,001218	0,01462	0,001299	0,001253
	1/30	1/821	1/68	1/770	1/798
33,5	0,0335	0,001236	0,01484	0,001319	0,001272
	1/30	1/809	1/67	1/759	1/786
34,0	0,0340	0,001255	0,01506	0,001338	0,001291
	1/29	1/797	1/66	1/747	1/775
34,5	0,0345	0,001273	0,01528	0,001358	0,001310
	1/29	1/785	1/65	1/737	1/763
35,0	0,0350	0,001292	0,01550	0,001378	0,001329
	1/29	1/774	1/65	1/726	1/752
35,5	0,0355	0,001310	0,01572	0,001398	0,001348
	1/28	1/763	1/64	1/715	1/742
36,0	0,0360	0,001328	0,01594	0,001417	0,001367
	1/28	1/753	1/63	1/706	1/732

mmm.	Millimeter.	Pariser Zoll.	Pariser Linie.	Englischer Zoll	Wiener Zoll.
36,5	0,0365 $\frac{1}{27}$	0,001346 $\frac{1}{742}$	0,01616 $\frac{1}{62}$	0,001427 $\frac{1}{696}$	0,001386 $\frac{1}{722}$
37,0	0,0370 $\frac{1}{27}$	0,001365 $\frac{1}{732}$	0,01638 $\frac{1}{61}$	0,001457 $\frac{1}{687}$	0,001405 $\frac{1}{712}$
37,5	0,0375 $\frac{1}{26}$	0,001383 $\frac{1}{721}$	0,01660 $\frac{1}{60}$	0,001477 $\frac{1}{678}$	0,001424 $\frac{1}{702}$
38,0	0,0380 $\frac{1}{26}$	0,001402 $\frac{1}{713}$	0,01682 $\frac{1}{59}$	0,001496 $\frac{1}{670}$	0,001443 $\frac{1}{693}$
38,5	0,0385 $\frac{1}{26}$	0,001420 $\frac{1}{703}$	0,01704 $\frac{1}{58}$	0,001516 $\frac{1}{661}$	0,001462 $\frac{1}{684}$
39,0	0,0390 $\frac{1}{26}$	0,001439 $\frac{1}{694}$	0,01726 $\frac{1}{58}$	0,001536 $\frac{1}{653}$	0,001481 $\frac{1}{675}$
39,5	0,0395 $\frac{1}{25}$	0,001457 $\frac{1}{684}$	0,01748 $\frac{1}{57}$	0,001556 $\frac{1}{644}$	0,001500 $\frac{1}{666}$
40,0	0,0400 $\frac{1}{25}$	0,001476 $\frac{1}{679}$	0,01773 $\frac{1}{56}$	0,001575 $\frac{1}{635}$	0,001518 $\frac{1}{657}$
40,5	0,0405 $\frac{1}{24}$	0,001494 $\frac{1}{670}$	0,01795 $\frac{1}{55}$	0,001595 $\frac{1}{627}$	0,001537 $\frac{1}{650}$
41,0	0,0410 $\frac{1}{24}$	0,001513 $\frac{1}{661}$	0,01817 $\frac{1}{55}$	0,001614 $\frac{1}{619}$	0,001556 $\frac{1}{643}$
41,5	0,0415 $\frac{1}{24}$	0,001531 $\frac{1}{653}$	0,01839 $\frac{1}{54}$	0,001634 $\frac{1}{612}$	0,001575 $\frac{1}{635}$
42,0	0,0420 $\frac{1}{24}$	0,001550 $\frac{1}{646}$	0,01861 $\frac{1}{54}$	0,001654 $\frac{1}{605}$	0,001594 $\frac{1}{627}$
42,5	0,0425 $\frac{1}{23}$	0,001568 $\frac{1}{638}$	0,01883 $\frac{1}{53}$	0,001674 $\frac{1}{598}$	0,001613 $\frac{1}{619}$
43,0	0,0430 $\frac{1}{23}$	0,001587 $\frac{1}{630}$	0,01905 $\frac{1}{53}$	0,001693 $\frac{1}{591}$	0,001632 $\frac{1}{612}$
43,5	0,0435 $\frac{1}{23}$	0,001605 $\frac{1}{623}$	0,01927 $\frac{1}{52}$	0,001713 $\frac{1}{584}$	0,001651 $\frac{1}{605}$
44,0	0,0440 $\frac{1}{23}$	0,001624 $\frac{1}{616}$	0,01949 $\frac{1}{51}$	0,001733 $\frac{1}{577}$	0,001670 $\frac{1}{598}$
44,5	0,0445 $\frac{1}{22}$	0,001642 $\frac{1}{609}$	0,01971 $\frac{1}{51}$	0,001753 $\frac{1}{570}$	0,001689 $\frac{1}{591}$
45,0	0,0450 $\frac{1}{22}$	0,001661 $\frac{1}{602}$	0,01993 $\frac{1}{50}$	0,001772 $\frac{1}{564}$	0,001708 $\frac{1}{585}$

mmm.	Millimeter.	Pariser Zoll.	Pariser Linie.	Englischer Zoll	Wiener Zoll.
45,5	0,0455	0,001679	0,02015	0,001792	0,001727
	$\frac{1}{22}$	$\frac{1}{595}$	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{558}$	$\frac{1}{579}$
46,0	0,0460	0,001697	0,02037	0,001811	0,001746
	$\frac{1}{22}$	$\frac{1}{589}$	$\frac{1}{49}$	$\frac{1}{552}$	$\frac{1}{573}$
46,5	0,0465	0,001715	0,02059	0,001831	0,001765
	$\frac{1}{21}$	$\frac{1}{582}$	$\frac{1}{49}$	$\frac{1}{546}$	$\frac{1}{567}$
47,0	0,0470	0,001734	0,02082	0,001851	0,001784
	$\frac{1}{21}$	$\frac{1}{576}$	$\frac{1}{48}$	$\frac{1}{540}$	$\frac{1}{561}$
47,5	0,0475	0,001752	0,02105	0,001871	0,001803
	$\frac{1}{21}$	$\frac{1}{570}$	$\frac{1}{48}$	$\frac{1}{534}$	$\frac{1}{555}$
48,0	0,0480	0,001771	0,02127	0,001890	0,001822
	$\frac{1}{21}$	$\frac{1}{565}$	$\frac{1}{47}$	$\frac{1}{529}$	$\frac{1}{549}$
48,5	0,0485	0,001789	0,02149	0,001910	0,001841
	$\frac{1}{21}$	$\frac{1}{558}$	$\frac{1}{47}$	$\frac{1}{523}$	$\frac{1}{543}$
49,0	0,0490	0,001810	0,02172	0,001930	0,001860
	$\frac{1}{20}$	$\frac{1}{552}$	$\frac{1}{46}$	$\frac{1}{518}$	$\frac{1}{538}$
49,5	0,0495	0,001828	0,02199	0,001950	0,001879
	$\frac{1}{20}$	$\frac{1}{547}$	$\frac{1}{46}$	$\frac{1}{513}$	$\frac{1}{532}$
50	0,0500	0,001847	0,02217	0,001969	0,001898
	$\frac{1}{20}$	$\frac{1}{542}$	$\frac{1}{45}$	$\frac{1}{508}$	$\frac{1}{527}$
51	0,0510	0,001884	0,02261	0,002008	0,001936
	$\frac{1}{20}$	$\frac{1}{531}$	$\frac{1}{44}$	$\frac{1}{498}$	$\frac{1}{517}$
52	0,0520	0,001921	0,02305	0,002048	0,001974
	$\frac{1}{19}$	$\frac{1}{520}$	$\frac{1}{43}$	$\frac{1}{489}$	$\frac{1}{507}$
53	0,0530	0,001958	0,02349	0,002087	0,002012
	$\frac{1}{19}$	$\frac{1}{511}$	$\frac{1}{43}$	$\frac{1}{480}$	$\frac{1}{497}$
54	0,0540	0,001995	0,02393	0,002127	0,002050
	$\frac{1}{19}$	$\frac{1}{501}$	$\frac{1}{42}$	$\frac{1}{471}$	$\frac{1}{488}$
55	0,0550	0,002032	0,02437	0,002166	0,002088
	$\frac{1}{18}$	$\frac{1}{492}$	$\frac{1}{41}$	$\frac{1}{462}$	$\frac{1}{480}$
56	0,0560	0,002068	0,02481	0,002205	0,002126
	$\frac{1}{18}$	$\frac{1}{483}$	$\frac{1}{40}$	$\frac{1}{454}$	$\frac{1}{471}$
57	0,0570	0,002105	0,02525	0,002245	0,002164
	$\frac{1}{18}$	$\frac{1}{475}$	$\frac{1}{40}$	$\frac{1}{446}$	$\frac{1}{462}$
58	0,0580	0,002142	0,02570	0,002284	0,002202
	$\frac{1}{17}$	$\frac{1}{467}$	$\frac{1}{39}$	$\frac{1}{438}$	$\frac{1}{454}$

mmm.	Millimeter.	Pariser Zoll.	Pariser Linie.	Englischer Zoll	Wiener Zoll.
59	0,0590	0,002179	0,02615	0,002324	0,002240
	1/17	1/459	1/38	1/430	1/446
60	0,0600	0,002216	0,02660	0,002363	0,002278
	1/17	1/450	1/38	1/423	1/439
61	0,0610	0,002253	0,02704	0,002402	0,002316
	1/16	1/444	1/37	1/416	1/432
62	0,0620	0,002290	0,02748	0,002442	0,002354
	1/16	1/437	1/36	1/409	1/425
63	0,0630	0,002327	0,02792	0,002481	0,002392
	1/16	1/430	1/36	1/403	1/418
64	0,0640	0,002364	0,02836	0,002521	0,002430
	1/16	1/423	1/35	1/397	1/411
65	0,0650	0,002401	0,02880	0,002560	0,002468
	1/15	1/416	1/35	1/391	1/405
66	0,0660	0,002438	0,02924	0,002600	0,002506
	1/15	1/410	1/34	1/385	1/399
67	0,0670	0,002474	0,02968	0,002639	0,002544
	1/15	1/404	1/34	1/379	1/393
68	0,0680	0,002511	0,03012	0,002678	0,002582
	1/15	1/399	1/33	1/373	1/387
69	0,0690	0,002548	0,03056	0,002718	0,002620
	1/15	1/393	1/33	1/368	1/381
70	0,0700	0,002585	0,03100	0,002756	0,002657
	1/14	1/387	1/32	1/363	1/376
71	0,0710	0,002623	0,03144	0,002795	0,002695
	1/14	1/382	1/32	1/357	1/371
72	0,0720	0,002660	0,03188	0,002835	0,002733
	1/14	1/376	1/31	1/352	1/366
73	0,0730	0,002697	0,03232	0,002874	0,002771
	1/14	1/370	1/31	1/347	1/361
74	0,0740	0,002733	0,03276	0,002914	0,002809
	1/14	1/365	1/31	1/343	1/356
75	0,0750	0,002770	0,03320	0,002953	0,002847
	1/13	1/361	1/30	1/339	1/351
76	0,0760	0,002807	0,03365	0,002992	0,002885
	1/13	1/356	1/30	1/334	1/346

mmm.	Millimeter.	Pariser Zoll.	Pariser Linie.	Englischer Zoll	Wiener Zoll.
77	0,0770 $\frac{1}{13}$	0,002844 $\frac{1}{352}$	0,03409 $\frac{1}{29}$	0,003032 $\frac{1}{330}$	0,002923 $\frac{1}{342}$
78	0,0780 $\frac{1}{13}$	0,002881 $\frac{1}{347}$	0,03454 $\frac{1}{29}$	0,003071 $\frac{1}{326}$	0,002961 $\frac{1}{337}$
79	0,0790 $\frac{1}{13}$	0,002918 $\frac{1}{343}$	0,03500 $\frac{1}{29}$	0,003111 $\frac{1}{322}$	0,002999 $\frac{1}{333}$
80	0,0800 $\frac{1}{13}$	0,002955 $\frac{1}{339}$	0,03546 $\frac{1}{28}$	0,003150 $\frac{1}{318}$	0,003037 $\frac{1}{329}$
81	0,0810 $\frac{1}{12}$	0,002992 $\frac{1}{334}$	0,03590 $\frac{1}{28}$	0,003189 $\frac{1}{314}$	0,003075 $\frac{1}{325}$
82	0,0820 $\frac{1}{12}$	0,003029 $\frac{1}{330}$	0,03634 $\frac{1}{27}$	0,003229 $\frac{1}{310}$	0,003113 $\frac{1}{321}$
83	0,0830 $\frac{1}{12}$	0,003066 $\frac{1}{326}$	0,03678 $\frac{1}{27}$	0,003268 $\frac{1}{306}$	0,003151 $\frac{1}{317}$
84	0,0840 $\frac{1}{12}$	0,003103 $\frac{1}{322}$	0,03722 $\frac{1}{27}$	0,003308 $\frac{1}{302}$	0,003189 $\frac{1}{314}$
85	0,0850 $\frac{1}{12}$	0,003140 $\frac{1}{318}$	0,03766 $\frac{1}{27}$	0,003347 $\frac{1}{298}$	0,003227 $\frac{1}{310}$
86	0,0860 $\frac{1}{12}$	0,003177 $\frac{1}{315}$	0,03810 $\frac{1}{26}$	0,003386 $\frac{1}{295}$	0,003265 $\frac{1}{306}$
87	0,0870 $\frac{1}{12}$	0,003214 $\frac{1}{311}$	0,03855 $\frac{1}{26}$	0,003426 $\frac{1}{292}$	0,003303 $\frac{1}{303}$
88	0,0880 $\frac{1}{11}$	0,003250 $\frac{1}{308}$	0,03900 $\frac{1}{26}$	0,003465 $\frac{1}{288}$	0,003341 $\frac{1}{299}$
89	0,0890 $\frac{1}{11}$	0,003288 $\frac{1}{305}$	0,03945 $\frac{1}{25}$	0,003505 $\frac{1}{285}$	0,003379 $\frac{1}{296}$
90	0,0900 $\frac{1}{11}$	0,003325 $\frac{1}{302}$	0,03990 $\frac{1}{25}$	0,003543 $\frac{1}{282}$	0,003416 $\frac{1}{293}$
91	0,0910 $\frac{1}{11}$	0,003362 $\frac{1}{298}$	0,04034 $\frac{1}{25}$	0,003582 $\frac{1}{279}$	0,003454 $\frac{1}{290}$
92	0,0920 $\frac{1}{11}$	0,003399 $\frac{1}{295}$	0,04078 $\frac{1}{25}$	0,003622 $\frac{1}{276}$	0,003492 $\frac{1}{286}$
93	0,0930 $\frac{1}{11}$	0,003436 $\frac{1}{291}$	0,04122 $\frac{1}{24}$	0,003661 $\frac{1}{273}$	0,003530 $\frac{1}{283}$
94	0,0940 $\frac{1}{11}$	0,003473 $\frac{1}{288}$	0,04166 $\frac{1}{24}$	0,003701 $\frac{1}{270}$	0,003568 $\frac{1}{280}$

mmm	Millimeter.	Pariser Zoll	Pariser Linie	Englischer Zoll	Wiener Zoll.
95	0,0950	0,003507	0,04210	0,003740	0,003606
	1/11	1/285	1/24	1/267	1/277
96	0,0960	0,003544	0,04254	0,003779	0,003644
	1/10	1/282	1/24	1/264	1/274
97	0,0970	0,003581	0,04300	0,003819	0,003682
	1/10	1/279	1/23	1/262	1/271
98	0,0980	0,003618	0,04344	0,003858	0,003720
	1/10	1/276	1/23	1/259	1/268
99	0,0990	0,003656	0,04388	0,003898	0,003758
	1/10	1/273	1/23	1/257	1/265
100	0,1000	0,003694	0,04433	0,003937	0,003796
	1/10	1/271	1/23	1/255	1/264
105	0,1050	0,003879	0,04674	0,004134	0,003986
	1/9	1/258	1/22	1/243	1/252
110	0,1100	0,004059	0,04870	0,004334	0,004176
	1/9	1/246	1/21	1/231	1/240
115	0,1150	0,004243	0,05090	0,004531	0,004366
	1/9	1/236	1/20	1/221	1/230
120	0,1200	0,004428	0,05280	0,004728	0,004555
	1/8	1/226	1/19	1/212	1/220
125	0,1250	0,004613	0,05500	0,004925	0,004745
	1/8	1/217	1/18	1/203	1/211
130	0,1300	0,004797	0,05720	0,005122	0,004935
	1/8	1/209	1/18	1/195	1/203
135	0,1350	0,004982	0,05940	0,005319	0,005125
	1/7	1/201	1/17	1/188	1/195
140	0,1400	0,005166	0,06160	0,005516	0,005314
	1/7	1/193	1/16	1/181	1/188
145	0,1450	0,005351	0,06380	0,005713	0,005504
	1/7	1/187	1/16	1/175	1/182
150	0,1500	0,005535	0,06600	0,005910	0,005694
	1/7	1/181	1/15	1/169	1/176
155	0,1550	0,005710	0,06820	0,006107	0,005884
	1/6	1/175	1/15	1/164	1/170
160	0,1600	0,005904	0,07040	0,006304	0,006074
	1/6	1/169	1/14	1/159	1/165

mmm.	Millimeter	Pariser Zoll.	Pariser Linie.	Englischer Zoll	Wiener Zoll.
165	0,1650	0,006089	0,07260	0,006501	0,006264
	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{163}$	$\frac{1}{14}$	$\frac{1}{154}$	$\frac{1}{160}$
170	0,1700	0,006275	0,07480	0,006698	0,006453
	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{158}$	$\frac{1}{13}$	$\frac{1}{150}$	$\frac{1}{155}$
175	0,1750	0,006458	0,07700	0,006895	0,006643
	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{154}$	$\frac{1}{13}$	$\frac{1}{145}$	$\frac{1}{151}$
180	0,1800	0,006642	0,07940	0,007092	0,006833
	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{151}$	$\frac{1}{13}$	$\frac{1}{141}$	$\frac{1}{148}$
185	0,1850	0,006827	0,08160	0,007289	0,007023
	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{147}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{137}$	$\frac{1}{143}$
190	0,1900	0,007011	0,08380	0,007486	0,007212
	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{143}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{133}$	$\frac{1}{139}$
195	0,1950	0,007195	0,08600	0,007683	0,007402
	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{139}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{130}$	$\frac{1}{135}$
200	0,2000	0,007388	0,08866	0,007874	0,007592
	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{136}$	$\frac{1}{11}$	$\frac{1}{127}$	$\frac{1}{132}$

364 Nicht selten ist es bei wissenschaftlichen Untersuchungen nöthig, dass man die Oberfläche eines im Gesichtsfelde befindlichen Objects misst. Da diese Oberfläche in der Regel sehr unregelmässig gestaltet ist, so hat das Bestimmen ihrer Grösse eigenthümliche Schwierigkeiten. Es giebt aber verschiedene Wege, um auf die eine oder andere Weise zum gewünschten Ziele zu kommen, die wir hier noch der Reihe nach betrachten müssen.

In manchen Fällen lässt sich diese Messung dadurch ausführen, dass man in den Focus des obersten Oculars ein in Vierecke getheiltes Mikrometer bringt und die Zahl der Vierecke bestimmt, welche durch das Object gedeckt werden. Hat man durch das bekannte Verfahren die Grösse des einzelnen Vierecks bestimmt, so findet man die Gesammtoberfläche des Objects durch eine einfache Multiplication.

Scheinbar zwar ganz einfach und bequem, ist eine solche Ausmessung dennoch sehr mühsam, ja manchmal unausführbar, wenn die Oberfläche des Objects einen etwas grössern Abschnitt des Gesichtsfeldes einnimmt und die Vierecke, wie es die Genauigkeit der Bestimmung erfordert, klein sind, weil das Auge in Ermangelung grösserer Abtheilungen keinen Ruhepunkt findet und nicht im Stande ist, der Reihe nach jedes Viereck so zu sehen, dass einer Verwirrung im Zählen vorgebeugt wird.

Besser ist es daher, mittelst einer Camera lucida den Umriss des zu messenden Körpers auf Papier oder auf eine Schiefertafel zu zeichnen

und dann ein Stück durchsichtiges Papier oder eine Glastafel darauf zu legen, worauf mit Tinte oder mit einem Schreibdiamante viereckige Felder gezogen sind. Da man jetzt dem Auge beim Zählen der Vierecke zu Hülfe kommen kann, so läuft man keine Gefahr, durch deren Menge verwirrt zu werden, zumal wenn man die grösseren Abtheilungen durch Zahlen oder sonst auf eine Art auf dem Papier oder auf der Glasplatte angegeben hat.

Wahrscheinlich ist auch das Planimeter, welches der Ingenieur Caspar Wetli in Zürich erfunden und beschrieben hat (Sitzungsberichte der Kais. Ak. 1850, I, S. 134), ein sehr geeignetes Instrument, womit man in einem solchen Falle die Oberfläche des mit der Camera lucida gezeichneten Bildes ausmessen kann. Doch kenne ich es nicht aus eigener Erfahrung, so wenig als das auf einem ähnlichen Principe (Messen durch Ordinaten und Coordinaten) beruhende, von L. Fick (Zeitschr. f. rat. Med. 1853, Bd. III, S. 173) ausgedachte und auf das Mikroskop angewandte Instument. Dasselbe besteht der Hauptsache nach aus zwei beweglichen Armen, zwischen denen sich zwei einander kreuzende Spinnenwebfäden befinden. Das Ocular besteht aus zwei Röhren, die durch ein kurzes Interstitium getrennt werden, worin sich der Kreuzungspunkt, der im Brennpunkte des obersten Oculars liegt, an den Rändern des Objects im Gesichtsfelde bewegen lässt. — Hierher gehört auch das Planimeter von Amsler (Ueber die mechanische Bestimmung des Flächeninhalts u. s. w. Schaffhausen 1856), dessen auch bei C. Fick (Medic. Physik 1856, S. 464) kurz Erwähnung geschieht.

Es giebt aber noch zwei andere Methoden, die auf einem kürzeren und mehr directen Wege das Ziel erreichen lassen.

Zuvörderst ist das tragbare Sonnenmikroskop recht gut dazu zu benutzen. Bei schwachen Vergrösserungen kann auch Lampenlicht statt des Sonnenlichts zur Beleuchtung des Objects verwandt werden. Das Bild wird auf einem ebenfalls in Vierecke getheilten Papiere aufgefangen, das man vorübergehend mittelst Terpentinöls durchscheinend macht.

Zweitens können diejenigen, die bei ihrem Mikroskope einen achromatischen Beleuchtungsapparat haben, denselben anwenden, um das Bild einer entfernten Theilung in das Gesichtsfeld zu bringen und dasselbe zugleich mit dem Objecte vergrössert wahrzunehmen. Von den verschiedenen Weisen, wie dies ausführbar ist, habe ich der folgenden den Vorzug gegeben.

Auf eine matt geschliffene Glasplatte von etwa 30 Quadratcentimetern werden mit Tinte eine Anzahl paralleler, einander durchkreuzender Linien gezogen, so dass die ganze Oberfläche in mindestens 300 bis 400 Vierecke von gleicher Grösse getheilt ist. Um das Zählen zu erleichtern, werden die grösseren Vierecke, welche 5 kleinere nach der Länge und nach der Breite, zusammen also 25 kleinere befassen, durch Tüpfel-

chen an den Ecken angedeutet, d. h. rund um die Kreuzungspunkte der Linien daselbst. Ausserdem kann man noch Zahlen an den Seiten des Vierecks anbringen. Um die Platte und die darauf gezeichnete Theilung zu schonen, bedeckt man sie mit einer andern durchsichtigen Glasplatte, und klebt dann die Ränder mit Papierstreifen dicht auf einander. Die Platte ist nun für alle Zeiten zur Benutzung fertig; sie kann auf einen besondern Fuss gestellt werden, oder, wie es in meinem Arbeitszimmer der Fall ist, an ein Fenster kommen. Stellt man ein Mikroskop in einiger Entfernung gerade davor und dreht den ebenen Spiegel dergestalt, dass das Licht durch die getheilte Glasplatte hindurch darauf fällt und ins Mikroskop tritt, so wird, falls unter dem Objecttische eine achromatische Linse oder ein achromatisches Linsensystem befindlich ist, darüber ein Bild jener Theilung entstehen, das man zugleich mit dem Objecte im Gesichtsfelde sieht, sobald die Linse oder das Linsensystem in die nöthige Entfernung vom Objecttische gebracht wird. Ich benutze dazu gewöhnlich eine Linse von 13,5 Millimeter Brennweite, die zu dem Beleuchtungsapparate gehört, dessen Beschreibung im dritten Buche folgen wird. Das Bild von den Theilungen kann man aber dadurch verschieden gross machen, dass man schwächere oder stärkere Linsen oder Linsensysteme davor stellt, oder dass man das Mikroskop der eingetheilten Glasplatte mehr weniger genähert aufstellt. Die wahre Grösse der Vierecke muss übrigens vorher eben so bestimmt werden, als wenn ein Glasmikrometer ins Ocular genommen wird. Hat man diese Bestimmung aber für eine oder für mehrere unveränderliche Entfernungen und für die nämlichen Linsen ausgeführt, so können die so gewonnenen Resultate für alle folgenden Messungen benutzt werden.

Es ist klar, dass von dem nämlichen Principe noch auf manche andere Weise Anwendung gemacht werden kann, indem man behufs verschiedener Arten von Messungen (Längs-, Flächen- oder Winkelmessungen), oder um Objecte in einem bestimmten Raume abzuzählen, oder auch um genaue Zeichnungen anzufertigen, das Gesichtsfeld auf solche Weise ganz nach Willkür in Ebenen von verschiedener Grösse abtheilen kann.

Sechster Abschnitt.

Das Zeichnen mikroskopischer Gegenstände.

Von jedem, der sich naturhistorischen und anatomischen Unter- 365
suchungen hingiebt, ist zu verlangen, dass er das Wahrgenommene in einer getreuen Abbildung wiederzugeben im Stande sei. Keine Beschreibung, wie ausführlich und genau dieselbe auch sein mag, kann es mit der einfachsten Zeichnung aufnehmen, wenn es darauf ankommt, bei einem Anderen die nämliche Vorstellung zu erwecken, welche der Beobachter beim Betrachten eines Objects sich aneignete. Gute Abbildungen sind auch einer gemeinsamen Sprache vergleichbar; jeder versteht sie, welchem Lande er auch angehören möge, wenn er nur dieser Art von Untersuchungen nicht durchaus fremd ist.

Manchmal kann der Naturforscher die Anfertigung von Abbildungen allerdings Anderen überlassen und seine Zeit nützlicher auf andere Weise verwenden; aber er müsste doch wenigstens im Stande gewesen sein, die Abbildung selbst zu machen, wenn er deren Ausführung gehörig überwachen will. Denn ist sie einem Zeichner von Profession anvertraut, so mag sie zwar in künstlerischer Beziehung ganz vortrefflich ausfallen, und dennoch entspricht sie oftmals ihrem eigentlichen Zwecke, nämlich so viel möglich ein treues Bild des Wahrgenommenen zu geben, sehr mangelhaft.

Dazu kommt noch, dass es kein besseres Mittel giebt, sich zu einem guten Beobachter auszubilden, als wenn man sich daran gewöhnt, sobald Zeit und Gelegenheit sich dazu darbieten, während der Beobachtung selbst vom Beobachteten Abbildungen zu machen. Die Erfahrung wird jeder machen, dass, wenn man dieses thut, die Aufmerksamkeit auf manche oftmals wichtige Einzelnheiten hingelenkt wird, die derselben ausserdem würden entgangen sein.

Das Gesagte gilt nun vornehmlich von den mikroskopischen Beobachtungen. Man könnte vielleicht meinen, dass es gerade bei diesen vorzuziehen wäre, wenn die Abbildungen von einem Anderen ausgeführt würden, der nicht ans Mikroskop gewöhnt ist, weil ein ganz unbefangenes Individuum weniger der Gefahr ausgesetzt ist, die Gegenstände anders zu zeichnen, als sie wirklich unterm Mikroskope sich zeigen. Darin würde man aber sehr irren. Das mikroskopische Sehen, wie in einem früheren Kapitel dargethan wurde, ist in mehr denn Einer Hinsicht verschieden vom gewöhnlichen Sehen; man muss es lernen, und deshalb kann nur Derjenige brauchbare mikroskopische Zeichnungen liefern, der selbst ein guter mikroskopischer Beobachter ist.

Man stelle sich aber auch nicht vor, dass dazu eine sehr grosse Kunstfertigkeit erfordert wird, die man sich nur durch jahrelange Uebung und unter gehöriger Anleitung zu eigen machen könne. Es wird nur das gefordert, was jeder mikroskopische Beobachter an und für sich schon besitzen muss: ein gutes Auge, eine feste Hand, Geduld. Ausserdem ist nichts nöthig, als Papier, ein Paar Bleistifte von ungleicher Härte und ein Stückchen Kautschuk.

Um indessen den, der sich noch wenig darauf gelegt hat, bei seinen ersten Schritten zu unterstützen, sollen ganz kurz die Haupterfordernisse einer mikroskopischen Zeichnung betrachtet werden, und ich werde einiger Hülfsmittel bei deren Anfertigung gedenken.

366 Die Haupterfordernisse sind Treue und Deutlichkeit; Zierlichkeit kann höchstens als gute Nebeneigenschaft gelten, der indess die beiden ersteren niemals aufgeopfert werden dürfen. Es wird aber näher auseinander zu setzen sein, was hier unter Treue und Deutlichkeit zu verstehen ist.

Man hat wohl angenommen, das müssten immer die besten Zeichnungen von mikroskopischen Objecten sein, worin dieselben gerade so dargestellt sind, wie sie sich im Gesichtsfelde zeigen, ohne dass in der Abbildung etwas hinzugethan oder weggelassen wird. Deshalb hat man auch angefangen, die Daguerreotypie und Photographie für solche Zeichnungen zu verwenden. Die Hoffnung indessen, der man sich wohl hingegeben hat, dass diese Hülfsmittel alle anderen mit der Hand ausgeführten Zeichnungen nicht allein entbehrlich machen, sondern auch an Genauigkeit und Treue übertreffen würden, weil die Subjectivität des Beobachters dabei ganz ausgeschlossen ist, muss als eine thörichte betrachtet werden. Freilich hat man auf einem photographirten Blatte die Bilder der Objecte genau so, wie sie sich im Augenblicke der Aufnahme im Gesichtsfelde würden dargestellt haben, wenn man dasselbe hätte sehen können; allein gerade durch diese übermässige Treue sind solche Bilder nicht allein undeutlich, sondern auch unwahr. Erstlich nämlich werden alle gar nicht eigentlich zum Objecte gehörige, sondern nur zufällig anwesende Theile gleichzeitig mit abgebildet und veranlassen somit einen verwirrenden

Eindruck beim Betrachten: eine solche Abbildung muss studirt werden, um das, was nicht Bestandtheil des Bildes ist, in Gedanken von demselben abzuziehen. Zweitens ist aber auch die Abbildung zum Theil unwahr; sie giebt nur von solchen Objecten oder Theilen desselben, die sich im Augenblicke der Aufnahme gerade in der richtigen Entfernung vom Objectiv befanden, ein getreues und wahres Bild; alle übrigen, die sich etwas entfernter oder etwas näher befanden, haben Diffusionsbilder erzeugt, welche die wahren Bilder an Grösse übertreffen, aber der scharfen Umrisse entbehren.

Aus diesem Beispiele kann man schon entnehmen, dass nur in wenigen Fällen alles, was sich bei einer bestimmten Stellung des Mikroskops im Gesichtsfelde zeigt, auch in die Zeichnung aufgenommen werden darf, und dass, ungeachtet des scheinbaren Widerspruchs, eine vollkommen getreue Abbildung deshalb noch nicht immer eine vollkommen wahre ist.

Eine Zeichnung soll eine Beobachtung wiedergeben; sie muss deshalb auch wirklich das Resultat der Beobachtung sein. Es muss demjenigen, welcher die Zeichnung betrachtet, die Mühe erspart werden, die während der Beobachtung selbst zu überwinden war, und zwar um so mehr, weil jetzt nicht mehr die Gelegenheit vorhanden ist, durch eine veränderte Entfernung des Objects und durch andere dem Beobachter sich darbietende Hülfsmittel die wahre Bedeutung dessen, was in der Zeichnung niedergelegt ist, aufzudecken. Deshalb ist es nicht blos gestattet, sondern es ist selbst geboten, dass in einer Zeichnung alles wegbleibt, was nicht zu dem eigentlich abzubildenden Objecte gehört. Das bezieht sich nicht blos auf alle nur zufällig vorhandenen Theilchen, die mit dem Objecte der Beobachtung gar nichts zu thun haben, z. B. kleine in der Luft schwebende Staubtheilchen, welche darauf fielen, sondern auch auf solche Theile des Objects selbst, durch deren Aufnahme die Abbildung nur an Deutlichkeit verlieren würde. An Durchschnitten von Pflanzengeweben z. B. sieht man oftmals mehrere Zellenlagen, die durch einander schimmern, von denen aber nur die oberste mit Klarheit und Schärfe wahrzunehmen ist. In einem solchen Falle darf man sich unbedenklich auf die Abbildung dieser einen Lage beschränken; denn die Aufnahme jener tiefern Lagen könnte nur zur Verwirrung führen.

Ebenso verhält es sich in einem andern Punkte, nämlich mit der Darstellung der körperlichen Form in den Zeichnungen mikroskopischer Objecte. Beim Betrachten durchs Mikroskop sieht man nur die Flächen mit Bestimmtheit; die Körperlichkeit eines Objects lässt sich niemals in dem nämlichen Augenblicke in seiner Totalität deutlich erkennen, sondern nur dadurch, dass man successiv die Stellung des Objectivs ändert. Es wäre aber ganz ungereimt, wollte man Körperchen, bei deren Abbildung es hauptsächlich auf Darstellung der körperlichen Form ankommt, wie etwa Krystalle, gerade so zeichnen, wie sie im Mikroskope erscheinen, wo nur eine der Flächen scharfe Umrisse hat, die übrigen aber wie durch Nebel hindurchschimmern. Sobald daher in einer Abbildung die körper-

liche Form als Ergebniss der Beobachtung wiedergegeben werden soll, ist es ganz zulässig, diese wiederzugeben, wenn auch auf diese Weise nicht ein einzelner durchs Mikroskop erhaltener Eindruck zur Ansicht kommt, vielmehr viele successive Eindrücke zu einem Ganzen vereinigt werden.

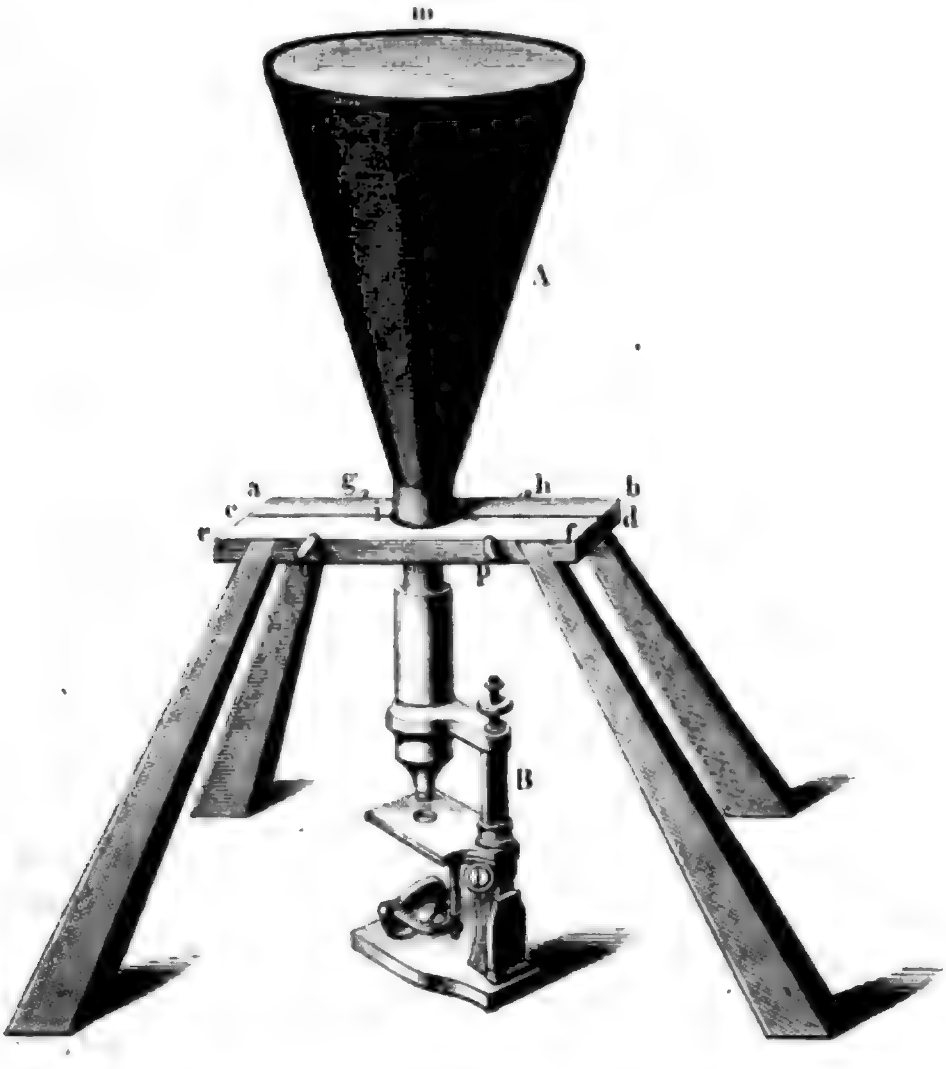
367 Es unterliegt nun keinem Zweifel, dass nach der soeben ausgesprochenen Regel, jede Abbildung müsse das Resultat der Beobachtung sein, dieselbe niemals auf vollkommene Wahrheit Anspruch machen kann, so wenig als die Beobachtung selbst. Die Beobachtung wie die Abbildung können sich der Wahrheit blos nähern, und derselben möglichst nahe zu kommen muss das Streben eines Jeden sein, der seine Untersuchungen für die Wissenschaft verwerthen will. Allein auch hierbei kann man sich, ohne der Wahrheit zu nahe zu treten, noch innerhalb gewisser Grenzen bewegen; dazu berechtigt uns die Betrachtung der organischen Natur selbst. Beim Zeichnen eines Blutgefässnetzes z. B. ist es ganz gleichgültig, ob wir einem Aestchen, das in der Wirklichkeit unter einem Winkel von 50° mit einem andern Aestchen verbunden ist, eine Richtung geben, dass der Winkel 51° beträgt; denn es giebt Tausende von Aestchen in dem nämlichen Netze, wo der Unterschied eben so gross oder noch grösser ist. Es giebt aber auch andere Fälle, wo die getreueste Befolgung bis in die kleinsten Einzelnheiten erfordert wird. Hielte man sich z. B. bei der Darstellung von Krystallen in gleich geringem Maasse an die wirkliche Grösse ihrer Ecken, wie bei der Zeichnung der Blutgefässnetzverästelungen, so würden ohne Zweifel sehr unvollkommene Abbildungen herauskommen.

Namentlich beim Anfertigen solcher Zeichnungen, bei denen es auf grosse Genauigkeit ankommt, lassen sich die verschiedenen Hülfsmittel benutzen, deren beim Zeichnen mikroskopischer Objecte gedacht worden ist. Nur überschätze man ihre Beihülfe nicht. Der ganz Ungeübte wird doch durch keins davon in den Stand gesetzt, eine gut ausgeführte mikroskopische Zeichnung anzufertigen; dagegen kann der bereits Geübte sie recht vortheilhaft für genaue Skizzen verwenden, die er dann später ausführt.

Die meisten von diesen Mitteln (die verschiedenen Arten der Camera lucida, das Sömmerring'sche Spiegelchen, das Oberhäuser'sche Prisma u. s. w.) sind schon früher (§. 179) beschrieben worden. Sie eignen sich alle ziemlich gleich gut für diesen Zweck, und sie verlangen blos, dass das Bild auf eine schwach erhellte Oberfläche projicirt wird, auf der man dann seine Ränder nachzeichnen kann. Am besten benutzt man dazu, wie schon erwähnt, eine gewöhnliche Schiefertafel, auf der man mit einem Griffel recht fein zeichnen kann. Schwarzes Schieferpapier ist wegen der stärkern Rauhigkeit zwar nicht ganz so gut; es hat aber den Vorzug, dass die mit einem Griffel gemachte Zeichnung durch eine Leimlösung darauf befestigt werden kann, und deshalb benutze ich dasselbe vorzugsweise.

In mehrfacher Beziehung hat der in Fig. 212 abgebildete Apparat, 368
dessen ich mich schon seit vielen Jahren bediene, vor diesen verschiedenen

Fig. 212.



Harting's tragbares Sonnenmikroskop.

Projectionsmitteln den Vorzug; derselbe ist aber nichts anderes als ein tragbares Sonnenmikroskop. Daran ist *A* ein oben und unten offenes Rohr, das nach unten kegelförmig zuläuft und dort cylindrisch endigt. Innen wie aussen ist es schwarz angestrichen. Es kann eine verschiedene Grösse haben; das meinige ist 25 Centimeter hoch und oben 16 Centimeter weit. Das obere Ende hat einen Rand, worauf eine matt geschliffene Scheibe von Spiegelglas (*m*) passt, die auch mit einer durchsichtigen gleichgrossen Glasplatte vertauscht werden kann. Bringt man ein solches Rohr über ein Mikroskop, ein einfaches oder ein zusammengesetztes (*B*), dessen Beleuchtungsapparat aus einem Hohlspiegel besteht, der sich auf- und niederbewegen lässt, oder noch besser aus einem ebenen Spiegel mit einer darüber befindlichen aufwärts und abwärts beweglichen Linse, so dass, wenn der Spiegel das Sonnenlicht auffängt, auf das Object ein convergirendes Strahlenbündel fällt, wodurch dasselbe stark beleuchtet wird, so wird auf dem matten Glase *m* ein Bild jedweden Gegenstandes entstehen, der sich in der gehörigen Entfernung vom Ob-

jectivsysteme oder, bei dem einfachen Mikroskope, von der vergrössernden Linse befindet.

Soll aber das Bild gut gesehen werden, dann muss man dafür sorgen, dass alle Lichtstrahlen ausgeschlossen bleiben, die nicht vom Spiegel kommen. Um die von unten kommenden Strahlen abzuhalten, muss der untere cylindrische Theil des Rohres gerade so weit sein, dass, wenn er über das Ocular eines zusammengesetzten Mikroskops kommt, zwischen beiden nur ein Raum von zwei bis drei Millimetern übrig bleibt, und ausserdem muss an der Stelle, wo der kegelförmige Theil des Rohrs anfängt, ein Ring angebracht sein, dessen Oeffnung nur wenig grösser ist als jene des Oculars. Benutzt man zu gleichem Zwecke ein einfaches Mikroskop, dann kommt auf den Rand des Röhrchens, worin die Linse steckt, ein kurzes hölzernes Futteral, und um dieses kommt dann der cylindrische Theil des Rohrs, gleichwie beim Oculare des zusammengesetzten Mikroskops.

Um die von oben kommenden Lichtstrahlen abzuhalten, ist weiter nichts nöthig, als dass man einen aus festem schwarzen Zeuge oder aus Seide verfertigten und an einem Ringe befestigten Schirm benutzt, der auf den Kopf genommen wird. Nimmt man keine zu starke Vergrösserung, so genügt schon ein Stück geschwärzte Pappe, dessen Breite etwa zwei Drittel vom obersten Umfange der Röhre beträgt, die Höhe aber 25 bis 30 Centimeter. Ist sie gebogen, so dass sie in den oberen Rand des Rohrs passt und auf dem matten Glase ruht, so kann sie in den meisten Fällen, wo der Apparat zum Zeichnen benutzt wird, die Stelle des stets etwas unbequemen Schirms ersetzen.

Da es nun aber zum Anfertigen von Zeichnungen erforderlich ist, dass das Rohr ganz fest steht und beide Hände frei sind, so wird das Rohr in den in der Abbildung auch mit dargestellten kleinen Tisch eingesenkt. Dieser Tisch von Eichenholz besteht aus zwei Hälften, welche nur durch die Schrauben *og* und *ph* zusammengehalten werden. Die Linie *cd* bezeichnet die Grenze dieser beiden Hälften. Sind sie vereinigt, dann hat der Tisch in der Mitte eine runde Oeffnung *ik*, in welche der cylindrische Theil des Rohrs passt, aber erst dann, wenn die beiden Schrauben *og* und *ph* ganz feststehen und die Röhre nicht mehr schwankt. Um die Unbeweglichkeit des Ganzen zu befördern, sind die vier Füsse des kleinen Tisches in auswärts verschränkter Richtung angebracht. Seine Höhe ist natürlicher Weise ganz abhängig von jener des benutzten Mikroskops. Viele zusammengesetzte Mikroskope sind schon an und für sich zu hoch, als dass sie noch eine Röhre von der genannten Länge tragen könnten. Man kann dann die Röhre kürzer machen, wodurch aber eben sowohl das Gesichtsfeld als die Vergrösserung einen geringern Werth bekommen. Besser ist es daher, man stellt ein solches Mikroskop mit dem gesammten Apparate auf einen Tisch mit niedrigeren Beinen als gewöhnlich, so dass der oberste Theil der Röhre mit der Glasplatte sich in der entsprechenden Höhe befindet.

Will man diesen Apparat beim Anfertigen einer Zeichnung oder eines Umrisses benutzen, so kommt auf die Glasplatte ein durchsichtiges Stück Papier, etwa gewöhnliches Velinpostpapier; darauf wird Terpentinöl gegossen und dann das Stück Papier auf der Glasplatte umgedreht, so dass beide Oberflächen desselben vom Oele durchzogen werden. Bei gehöriger Stellung des Spiegels und der Beleuchtungslinse und wenn das Object in der gehörigen Entfernung ist und die äusseren Strahlen gehörig abgehalten werden, sieht man dann ein Bild des Objects auf dem Papiere, das man nun mit der feinen Spitze eines Bleistiftes umreisst. So lange das Papier noch mit Oel durchzogen ist, treten die Bleistiftstriche undeutlich hervor; sie werden aber deutlich nach der Verflüchtigung des Oels.

Soll eine solche Skizze zu einer ausgeführtern Zeichnung benutzt werden, so kommt sie auf das dazu bestimmte Papier, und mit einer feinen, jedoch nicht allzu scharfen Spitze (ein fein zugespitzter Schieferstift ist dazu passend) werden alle Bleistiftstriche des unterliegenden Papiers durchgezeichnet.

Statt des mit Terpentinöl angefeuchteten Papiers kann man auch Papier nehmen, das schon vorher durchsichtig gemacht wurde, nämlich das sogenannte Pflanzenpapier, und man kann sich auch selbst ein solches zubereiten mit Hülfe gekochten Leinöls oder eines Mastixfirnisses.

Statt der eben beschriebenen Vorrichtung kann auch zu dem nämlichen Zwecke der oben beschriebene und abgebildete Tisch (Fig. 124, S. 362) zum Theil benutzt werden. Es wird nämlich der Spiegel *e* weggenommen und durch ein Mikroskop ersetzt. Sorgt man dann durch ein auf passende Weise über dem Ocular angebrachtes kegelförmiges Futteral, wozu man ein mit schwarzem Papier beklebtes Stück Pappe nehmen kann, für Abhaltung des Lichtes, so entsteht das Bild auf einer matt geschliffenen Glasplatte, die auf den Ausschnitt bei *f* gelegt wird, und man kann es auf die nämliche Weise wahrnehmen, wie bei der soeben beschriebenen Einrichtung. Die Benutzung dieses Tisches zu dem bestimmten Zwecke, Umrisse von den Bildern der Objecte zu entwerfen, gewährt auch noch insofern einen nicht unerheblichen Vortheil, dass die Hand dabei bequemer auf der breiten Oberfläche des obern Tischblattes ruht.

In den letzten Jahren hat man allgemein angefangen, die Photographie zu mikroskopischen Abbildungen zu benutzen, namentlich seitdem, statt der Silberplatte oder des Papiers, Glas mit Collodium, Eiweis oder Gelatine bestrichen in Gebrauch gekommen sind. Vorzüglich das Collodium ist dazu mit gutem Erfolge benutzt worden. 369

In Wien hat man in der Staatsdruckerei, die unter der Leitung Auer's steht, mikroskopische Photographien geliefert. Ebendaselbst haben sich auch Pohl und Weselsky (Sitzungsberichte d. Kais. Akad. 1857, XXIII. Heft 1, S. 317) damit beschäftigt, und schon früher soll

Mayer in Frankfurt schöne Photographien der Art angefertigt haben. In Paris wurden unlängst durch Bertsch (*Comt. rendus* 1857, XLIV, p. 213) dergleichen der Akademie vorgelegt. Auch Nachet hat sich nach mündlicher Mittheilung mit gutem Erfolge auf deren Herstellung gelegt. Am häufigsten indessen hat man in England die mikroskopische Photographie geübt. Hodgson (*Quart. Journ. of microsc. Science* 1853, II, p. 147), Delves (Ibid. III, *Transact.* p. 57), Kingsley (*Philos. Magazine* 1853, June, p. 461), Shadbolt (*Quart. Journ.* 1853, III, p. 165), Huxley (Ibid., p. 178 u. IV, p. 305), sowie Wenham (Ibid. 1855, X. *Transact.*, p. 1) haben die Resultate ihrer zum Theil recht gut gelungenen Versuche öffentlich mitgetheilt, auch eine mehr oder weniger ausführliche Beschreibung der befolgten Methoden gegeben.

Da indessen die Mittel zur photographischen Darstellung mikroskopischer Gegenstände in der Hauptsache ganz die nämlichen sind, wie jene, die bei der Photographie im Allgemeinen in Anwendung kommen, so glaube ich mich damit begnügen zu dürfen, wenn ich den Leser auf die darüber handelnden Schriften verweise. Ich gebe daher nur eine kurze Beschreibung dessen, was der mikroskopischen Photographie eigenthümlich ist.

Die meisten der Obengenannten haben nur Sonnenlicht zur Beleuchtung der Objecte geeignet gefunden; damit bekommt man binnen wenigen Secunden auf jodirtem Collodium einen vollkommenen Abdruck. Shadbolt benutzte auch das Licht einer Camphinlampe und will dadurch binnen 1 bis 10 Minuten ein vollkommenes Bild erhalten haben. Dies gelang aber Wenham nicht, der mit besserem Erfolge brennenden Phosphor, brennende Zinkspäne, oder eine Reihe elektrischer Funken durch Selbstentladung einer grossen Leydener Flasche anwandte und mit geringerem Erfolge das Hydrooxygenlicht auf Kalk einwirkend versuchte. Schliesslich giebt er übigens an, dass kein bekanntes Licht in dieser Beziehung dem Sonnenlichte gleichkommt. Nach Nachet's Beobachtungen ist das elektrische Licht zwischen Kohlenspitzen recht gut brauchbar.

Was die fernere optische Einrichtung anbelangt, so haben manche dem gewöhnlichen Sonnenmikroskope mit aplanatischen Linsensystemen den Vorzug gegeben und das Bild in einem dunklen Gemache aufgefangen. Andere haben in dem gewöhnlichen zur Photographie benutzten Gehäuse die Linse durch ein Objectivsystem mit einem davor befindlichen Objectivtische und einem Beleuchtungsapparate ersetzt. Wieder Andere benutzten zur Erzeugung des Bildes lieber ein ganz zusammengesetztes Mikroskop, in senkrechter oder in horizontaler Stellung, oder auch wohl in einer combinirten Stellung, indem ein rechtwinkeliges gläsernes Prisma in die Bahn der Strahlen gebracht wird. Diese Differenzen in der Anwendung des vergrössernden Apparats sind aber von geringer Bedeutung. Ich habe nur beizufügen, dass auch das oben beschriebene tragbare Sonnenmikroskop (Fig. 212) sowie der zu gleichem Zwecke benutzbare

Fisch (Fig. 124) recht gut zum Auffangen photographischer Bilder sich einrichten liessen.

Von mehr Gewicht ist es, auf den Umstand Bedacht zu nehmen, dass der Brennpunkt der aktinischen oder chemischen Lichtstrahlen nicht mit jenem der eigentlichen Lichtstrahlen zusammenfällt; das scharfe photographische Bild muss also in etwas grösserer Entfernung entstehen, als das auf einem matten Glase aufgefangene Lichtbild. Hierzu kommt noch, dass alle aplanatischen Linsensysteme überverbessert sind, natürlich aber nur für die eigentlichen Lichtstrahlen, und ausserdem auch der Grad der Ueberverbesserung in den verschiedenen Linsensystemen variirt, selbst bei jenen, die aus der nämlichen Werkstätte kommen.

Im Allgemeinen differiren die beiderlei Brennpunkte am stärksten bei den schwächsten Linsensystemen. So fand Shadbolt, dass ein Objectiv von Smith und Beck mit einem Focus von $1^1/_2$ Zoll von dem Objecte $^1/_{50}$ Zoll entfernt werden musste; bei einem andern mit $^2/_3$ Zoll Focus betrug dieser Unterschied nur $^1/_{200}$ Zoll; bei einem dritten endlich mit $^4/_{10}$ Zoll Focus gar nur $^1/_{1000}$ Zoll. Bei stärkeren Objectiven ist der wechselseitige Abstand der beiden Brennpunkte ein so geringer, dass diese Differenz wenig oder gar nicht mehr von Einfluss ist.

Es lässt sich dabei auf dreierlei Art abhelfen: a. man verändert die Stelle, wo das Bild aufgefangen wird; b. man verändert die Entfernung zwischen Object und Objectiv; c. vor das Objectiv bringt man eine gewöhnliche biconvexe Glaslinse, wodurch die Ueberverbesserung des erstern in eine Unterverbesserung umgewandelt wird. Das letztgenannte Verfahren wendet Wenham an; das zweite aber ist dem ersten vorzuziehen, weil es mit der Schraube zur feinen Einstellung ausführbar ist, deren Kopf nur mit einer Eintheilung versehen sein muss, um sie als Focimeter zu benutzen.

Wer also mit den Objectiven seines Mikroskops Photographien herstellen will, der muss erst durch vorgängige Proben ermitteln, wie gross die Differenz der beiden Brennpunkte ist. Ist diese einmal gefunden, so muss das Objectiv, sobald das Bild auf dem matten Glase sich mit Bestimmtheit darstellt, allemal noch um gleich viel von dem Objecte entfernt werden, oder nach Wenham's Methode muss dann noch die biconvexe Linse vorgeschraubt werden, welche für das vorgesteckte Ziel sich brauchbar erzeigte.

Wird statt eines einfachen Objectivsystems ein zusammengesetztes Mikroskop genommen, so wird die Ueberverbesserung des Objectivs durch das Ocular mehr oder weniger aufgehoben oder selbst in Unterverbesserung umgewandelt. Auch hier können daher wiederum nur vorgängige Prüfungen darüber entscheiden, welche Veränderung in dem Abstande zwischen Object und Objectiv vorgenommen werden muss, damit das photographische Bild möglichst scharf ausfällt.

Die Frage über die Nutzbarkeit photographischer Abbildungen mikroskopischer Objecte lässt sich aus einem doppelten Gesichtspunkte be-

antworten. Das Zeichnen mikroskopischer Objecte wird, wie schon vorhin (§. 366) bemerkt wurde, durch solche Abbildungen keineswegs überflüssig gemacht. Ueberdem tritt auch in einer photographischen Abbildung nur eine einzige Fläche mit Schärfe hervor, und alle anderen Theile, die sich in einer andern Ebene befinden, machen zwar wohl noch einen Eindruck, treten aber in dem Bilde nur mit mehr oder weniger nebelartigen Umrissen hervor. Aus früher (S. 194) mitgetheilten Messungen ist aber zu ersehen, welche geringe Tiefe das wirkliche Gesichtsfeld im Mikroskope hat. Wenham hat hier allerdings dadurch abzuhelfen gesucht, dass er das photographische Bild stückweise sich bilden lässt, indem er eine Karte in den Weg der Strahlen bringt, so dass nach einander die einzelnen Abschnitte des Objects sich formen. Aber offenbar kann dieses Hülfsmittel nur in sehr wenigen Fällen wesentliche Dienste leisten, da es durchaus nicht ausreicht, sobald ein aus verschiedenen Schichten bestehendes Gewebe photographirt werden soll, dessen Schichten durcheinander hindurchschimmern.

Kann man nun aber auch ganz zuverlässig behaupten, die Photographie werde das Zeichnen niemals vollständig ersetzen, so ist sie doch ganz an ihrem Platze als Mittel, genaue Abbildungen zu erhalten, und in dieser Beziehung übertrifft sie bei Weitem die anderen derartigen Hülfsmittel, z. B. die verschiedenen Arten von Camera lucida.

Eine zweite gewichtige Bedeutung hat die Photographie noch als Hülfsmittel der Untersuchung. Die ganze mikroskopische Beobachtung bei durchfallendem Lichte beruht darauf, dass von den in das Gesichtsfeld fallenden Lichtstrahlen einige nicht bis zum Auge gelangen, indem sie absorbirt, reflectirt oder gebrochen und so ausserhalb des Gesichtsfelds geworfen werden. Die photographischen Bilder durchsichtiger Objecte entstehen auch dadurch, dass einige Lichtstrahlen nicht durchgelassen werden, was aber nicht blos von jenen gilt, durch welche beim gewöhnlichen Sehen das Netzhautbild im Auge entsteht, sondern vornehmlich von jenen stärker brechbaren Strahlen, die von dem Auge nicht empfunden werden. Daher rührt es, dass die beiden Bilder, das Gesichtsbild und das photographische Bild, nicht nothwendig identisch zu sein brauchen, dass mithin letzteres Einzelnheiten der Bildung des Objects deutlicher oder weniger deutlich zeigen kann, als wenn das nämliche Object einfach durchs Mikroskop betrachtet wird.

Ich benutze ein paar Beobachtungen Wenham's, um das deutlicher zu machen, was ich hierbei im Sinne habe. Es gelang ihm eine photographische Abbildung des *Pleurosigma angulatum*, und zwar bei der enormen Vergrösserung von 15000 Mal im Durchmesser *). Darin er-

*) Die Abbildung findet man bei Carpenter, *On the microscope* etc., p. 307. Ich vermuthe übrigens, dass diese enorme Vergrösserung nicht auf directe Weise erreicht war, vielmehr das negative Bild von einer geringern Vergrösserung wiederum als Object benutzt wurde, wodurch dann ein stärker vergrössertes positives Bild entstand.

scheinen die Zeichnungen an der Oberfläche der Schale vollkommen schwarz und weit deutlicher, als man dieselben je durch das zusammengesetzte Mikroskop zu sehen erwarten darf. Dagegen gab ein kleines rothgefärbtes Insect, an dem bei durchfallendem Lichte das ausgebreitete Tracheensystem gut sichtbar war, nur ein ganz gleichmässig schwarz gefärbtes Bild.

Die Anfertigung mikroskopischer Photographien kann demnach in einzelnen Fällen ein nicht unwichtiges Hülfsmittel sein, womit man tiefer in den feinen Bau der Körper eindringen kann. Die aktinischen Strahlen verhalten sich in dieser Hinsicht wie die polarisirten Strahlen. Man kann sie beide noch nutzbar verwenden, wenn das gewöhnliche Licht nicht ausreicht, unserem Auge Abweichungen im Gange der Aetherschwingungen sichtbar zu machen, die ihrerseits nur die Folgen bestimmter Differenzen der Gestaltung oder des molekulären Zustandes der Körper sind.

Ausser den bisher genannten Mitteln giebt es noch andere, wodurch 370
man die Anfertigung mikroskopischer Zeichnungen erleichtern und dieselben getreuer machen kann. Dahin gehört das in Vierecke abgetheilte Glasmikrometer, oder eine aus feinem Metalldrahte verfertigte Gaze, die in das Ocular gebracht wird und das ganze Gesichtsfeld in viereckige Felder abtheilt. Hat man vorher auf ein Papier ähnliche, nur grössere Vierecke gezeichnet, so kann man dann das Bild des Objects so hineinzeichnen, wie es im Gesichtsfelde des Mikroskops sich darstellt.

Auf dieses Princip stützt sich auch ein anderes von Stilling (Bau und Verrichtungen des Gehirns. Jena 1846, S. 20) angegebenes Verfahren. Er benutzt nämlich Glaspapier, eine aus Thierleim verfertigte Masse, so dünn wie Papier und durchsichtig wie Glas. Ein Stückchen solches Glaspapier wird mit etwas arabischem Gummi auf das Deckplättchen geklebt, unter dem sich ein mikroskopisches Präparat befindet. Nun bringt man dieses unters Mikroskop und mit einer Graveurnadel zeichnet man die Umrisse des vergrösserten Objects auf das Glaspapier. Weiterhin zeichnet man darauf ein Netz von Strichen, wodurch das Ganze in viereckige Felder abgetheilt wird, und hierauf trägt man ein ähnliches Netz grösserer Vierecke auf ein Stück Papier auf und überträgt darauf die auf dem Glaspapier bewirkte Zeichnung.

Offenbar ist aber dieses Verfahren nur bei sehr schwachen Vergrösserungen von 10 bis 20 mal im Durchmesser anwendbar, weil ja sonst gar kein Platz da wäre, die Graveurnadel hinzuführen; auch würde man sonst das Object und das Glaspapier, da sie nicht gleich weit vom Mikroskope entfernt sind, nicht gleichzeitig scharf sehen können.

Stilling hat aber auch noch eine andere Benutzung des Glaspapiers angegeben. Will man nämlich eine darauf befindliche Zeichnung auf Papier oder behufs einer Lithographie auf den Stein übertragen, so reibt man die gravirte Oberfläche mit dem Pulver von rother oder

schwarzer Kreide oder auch von Graphit ein, und durch Blasen oder Reiben schafft man das Ueberflüssige weg. Legt man nun die eingeriebene Oberfläche, woran blos jene mit der Nadel eingeschnittenen Stellen das Pulver aufgenommen haben, auf Papier oder auf Stein, und streicht man mit einem Falzbeine einige Male über die entgegengesetzte Fläche des Glaspapiers, dann prägt sich die Zeichnung umgekehrt darauf ab. Soll aber die Zeichnung auch hier eine rechtgestellte sein, so wird das gravirte Stück Glaspapier auf schwarzes Papier gelegt und nun die Zeichnung erst auf der andern Seite nachgezeichnet, die man alsdann einreibt und sonst auf die nämliche Weise behandelt.

Wenn man übrigens zur Anfertigung einer Zeichnung das weiter oben beschriebene tragbare Sonnenmikroskop benutzte, und auf die mattgeschliffene Glasplatte ein Stück Glaspapier legte, so würde man begreiflicher Weise darauf mit geringer Mühe eine sehr genaue Zeichnung gewinnen können, die sich dann auf genannte Weise auf Papier oder Stein übertragen liesse.

Siebenter Abschnitt.

Aufbewahrung mikroskopischer Präparate.

Für den Mikroskopiker ist es eine ungemein wichtige Sache, dass 371
er Mittel besitzt, um die angefertigten Präparate im ursprünglichen Zustande erhalten zu können. Das hat man auch eingesehen, sobald man das Mikroskop zu benutzen angefangen hat, und man hat darauf hinzielende Versuche vorgenommen, deren im folgenden Buche in der historischen Uebersicht gedacht werden soll. Hier werde ich nur von den Aufbewahrungsmethoden sprechen, von deren Brauchbarkeit ich mich durch eine vieljährige Erfahrung überzeugt habe.

Nur wenige Objecte lassen sich trocken in unverändertem Zustande aufbewahren, und selbst wo dieses möglich ist, wie mit Haaren, Fischschuppen u. s. w., verdient diese Methode dennoch meistens nicht den Vorzug, weil diese Körper, frei in der Luft liegend, nicht durchsichtig genug sind, als dass ihre zusammensetzenden Elemente gehörig wahrgenommen werden könnten (§. 278). Fast nur bei Insectenschüppchen, so z. B. bei den als Probeobjecte benutzten (§. 237), ist diese Aufbewahrungsweise nicht blos brauchbar, sondern sie verdient selbst den Vorzug, weil die verschiedenen Arten kleiner Streifen gerade im trocknen Zustande mit grösserer Deutlichkeit gesehen werden.

Solche Schüppchen werden zur mikroskopischen Betrachtung am einfachsten dadurch vorbereitet, dass man einige auf ein Objecttäfelchen bringt, wo sie schon von selbst ankleben, was man aber auch noch dadurch befördern kann, dass man auf das Täfelchen ausathmet. Darauf kommt ein Deckplättchen von zweckentsprechender Dicke (§. 161), und das Objecttäfelchen wie das Deckplättchen verklebt man dann mit einem Streifen Papier, der in der Mitte, wo das Object liegt, durchbrochen ist.

Manche organische Substanzen würden alsbald von pflanzlichen

und thierischen Parasiten angegriffen werden, wenn man sie blos im trockenen Zustande aufbewahrte, so z. B. Durchschnitte vorher aufgeblasener und getrockneter Organe, wie der Lungen und ähnlicher. Dem zu begegnen, pflege ich solche Präparate mit Terpentinöl anzufeuchten, nach dessen Verdunstung immer eine ganz dünne firnissartige Lage zurückbleibt, welche ausreichend ist, das Gewebe weiterhin zu schützen.

372 Bei weitem die meisten mikroskopischen Objecte und Präparate müssen nun aber in einer Flüssigkeit aufbewahrt werden, die wiederum je nach der Art des Objects variirt. Ich benutze dazu folgende Flüssigkeiten.

1. Eine Solution von vollständig eisenfreiem Chlorcalcium, die entweder saturirt oder noch mit 4 bis 8 Theilen Wasser verdünnt ist. Die saturirte Solution findet sehr allgemeine Anwendung in allen solchen Fällen, wo das aufzubewahrende Gewebe einen ziemlichen Grad von Festigkeit oder Härte besitzt. Alle Zahn- und Knochenpräparate, Durchschnitte von Haaren, Federn, Fischschuppen, Fischbein und ähnliche Substanzen lassen sich darin aufbewahren, nur wirkt sie insofern nachtheilig auf Knochen- und Zahnpräparate, dass sie nach einiger Zeit in einen Theil der feinen Canälchen eindringt, wodurch diese an Sichtbarkeit verlieren. Auch viele kleine Thierchen mit einer harten Epidermis, wie Käse- und Krätzmilben, kleine Süsswassercrustaceen u. s. w., lassen sich gut darin aufbewahren. Ausserdem aber auch manche weiche thierische Gewebe, namentlich Gehirn- und Rückenmarkspräparate; denn wenn diese auch darin einen hohen Grad von Durchsichtigkeit annehmen, so wird doch hierdurch wieder der allgemeine Verlauf der Fasern und deren Verhalten zu den Ganglienzellen deutlicher.

Bei allen vegetabilischen Körpern, wo die Wandungen der Zellen und Gefässe einer beginnenden Incrustation unterlagen, passt diese Solution ebenfalls. Sie eignet sich aber auch ganz gut zum Aufbewahren der kieselpanzerigen Bacillarien oder Diatomeen, wenn es dabei blos auf die Schalen oder die Panzer ankommt. Auch die Krystalle im Innern der Pflanzengewebe verändern sich nicht darin. Amylumkörner schwellen dagegen im Chlorcalcium auf und werden viel durchsichtiger; es ist deshalb nicht brauchbar, wenn es darauf ankommt, auch diese im unveränderten Zustande aufzubewahren.

Eine gute Eigenschaft dieser conservativen Flüssigkeit ist es, dass sie niemals ganz verdunsten kann; somit sind die Objecte gegen Vertrocknung geschützt. Es könnte somit scheinen, als würde eine Verschliessung an den Rändern des Deckglases hier weniger gefordert, als beim Benutzen anderer Flüssigkeiten. Allerdings habe ich auch viele Präparate mehrere Jahre hindurch darin gehabt ohne einen Verschluss. Indessen hat mich die Erfahrung doch gelehrt, dass es durchaus nöthig ist, auch hier die Luft abzuhalten, weil sich sonst früher oder später eine

Art von Hygrococis darin entwickelt, die, wenn sie einmal entstanden ist, sich gleichsam von Präparat zu Präparat fortpflanzt und dann in kurzer Zeit alles verdirbt; denn die feinen, nach allen Richtungen sich verbreitenden und verästelnden Zellfasern dieses Pflänzchens dringen in alle Zwischenräume der Objecte ein und lassen sich nicht mehr beseitigen. Hunderte von Präparaten habe ich dadurch verloren. Später habe ich dann immer die Ränder der Deckplättchen mit einem Kitt bestrichen, und das muss ich auch jenen empfehlen, die sich dieser Flüssigkeit bedienen.

Eine mit vier bis acht Theilen Wasser verdünnte Chlorcalciumsolution eignet sich vornehmlich dazu, junge Pflanzengewebe mit noch nicht verholzten Zellen aufzubewahren. Entsprechend dem Alter der Zellen, welche das Gewebe zusammensetzen, wendet man eine mehr oder weniger verdünnte Flüssigkeit an.

2. Canadabalsam. Es kommen mehrere Sorten davon im Handel vor, die sich durch einen verschiedenen Grad der Reinheit und Färbung unterscheiden. Der beste, der für diesen Zweck allein benutzt werden sollte, ist ganz durchsichtig, beinahe farblos und dickflüssig.

Als Aufbewahrungsmittel wird der Canadabalsam in allen jenen Fällen angewandt, wo es darauf ankommt, die Durchsichtigkeit eines Objects zu vermehren, bei Pollenkörnchen, bei Durchschnitten von harten Fruchthüllen, von Korallen, von Schalen, und ganz besonders bei solchen Injectionspräparaten thierischer Organe, die durch vorgängiges Trockenwerden keine Veränderung erleiden, wovon §. 327 die Rede war. Auch für Knochen- und Zahnschliffe ist Canadabalsam das beste Aufbewahrungsmittel, wenn es nämlich vorzüglich darauf ankommt, die mit Luft erfüllten und deshalb schwarz erscheinenden Höhlungen und Canäle deutlich zum Vorschein zu bringen, weil die Intercellularmasse dadurch sehr durchsichtig wird. Freilich sind aber auch deshalb manche Einzelnheiten darin weniger sichtbar als in einer Chlorcalciumsolution. Der Canadabalsam passt ferner bei vielen pulverförmigen mineralischen Substanzen, z. B. für den diatomeenhaltigen Schlamm, für die Foraminiferen in der Kreide u. s. w.

Bei allen diesen Objecten nimmt man Canadabalsam, der bei der gewöhnlichen Lufttemperatur so dickflüssig ist, dass er aus dem umgekehrten Gefässe nicht von selbst ausfliesst. Einen dünnen Balsam muss man einige Zeit erwärmen, bis er den erforderlichen Consistenzgrad bekommt. Wäre er dagegen zu dick, so wird er erwärmt und flüssig gemacht und dann noch mit etwas Terpentinöl versetzt.

3. Eine durch Destillation mit Wasser erhaltene wässerige Kreosotsolution, oder die filtrirte und gesättigte Solution von Kreosot in einem Gemisch von 1 Thl. Alkohol von 32° mit 20 Theilen Wasser. Beide passen ganz gut für alle Präparate von Muskeln, Bindegewebe, Sehnen, Knorpel, für Durchschnitte von Knochen und Zähnen, die mit Säuren ausgezogen sind, für die Fasern der Krystalllinse u. s. w.

Zum Aufbewahren des Fettgewebes, der Nervenprimitivröhren, der Blutkörperchen passt Kreosot nicht.

4. Eine Solution von arseniger Säure, die dadurch hergestellt wird, dass ein Ueberschuss der Säure, mit Wasser gekocht, nach erfolgter Abkühlung filtrirt und dann mit dreimal soviel Wasser verdünnt wird. Diese Solution eignet sich zumeist zum Aufbewahren thierischer Theile; alle in Kreosot aufbewahrbare Theile und ausserdem noch das Fettgewebe lassen sich darin unverändert aufheben. Da die Theile darin gar nicht oder doch nur in mässigem Grade eine gelbe Färbung annehmen, so habe ich dieser Flüssigkeit in den letzten Jahren im Allgemeinen den Vorzug gegeben.

5. Auflösungen von 1 Thl. Sublimat in 200 bis 500 Thln. Wasser. Die Concentration dieser Solutionen muss zu den aufzubewahrenden Objecten ein gewisses Verhältniss einhalten, und deshalb ist es wohlgethan, wenn man, so lange man den erforderlichen Concentrationsgrad noch nicht aus Erfahrung kennt, mehrere Präparate mit Solutionen von verschiedener Stärke herstellt. Dies gilt namentlich von den Blutkörperchen, die sich unter den von mir geprüften Aufbewahrungsmitteln nur allein in Sublimat unverändert erhalten. Für jene des Froschblutes ist eine Solution von $^1/_{400}$ Sublimat erforderlich; für Vögel ist aber $^1/_{300}$, und für die Säugethiere und den Menschen $^1/_{200}$ nöthig.

Sodann passen diese Solutionen für die Elementartheile des Gehirns, des Rückenmarkes, der Netzhaut, wenngleich diese Theile darin, gleichwie in allen anderen Flüssigkeiten, stets einige Veränderung erleiden.

Knorpel hält sich gut in Sublimat, ebenso die Fasern der Krystalllinse; die übrigen faserigen Gebilde werden aber darin zu undurchsichtig. Nur für die Primitivfasern der Muskeln ist Sublimat zu gebrauchen; deren Querstreifen treten darin deutlicher hervor.

Für Präparate zarter pflanzlicher Gewebe, für jüngere Organe im Allgemeinen, namentlich solche, worin man Amylumkörner und Chlorophyll unbeschädigt erhalten will, desgleichen für Süsswasseralgen, Diatomeen, Schimmel, für die Rotatorien u. s. w. kenne ich kein besseres Aufbewahrungsmittel als eine Solution von $^1/_{500}$ bis $^1/_{400}$ Sublimat.

6. Auflösungen von kohlensaurem Kali in 200 bis 500 Thln. Wasser. Auch hiervon muss man verschieden starke Solutionen haben. Es ist das beste Mittel für die Nervenprimitivröhren. Andere faserige Gewebe halten sich darin ziemlich gut, nur werden sie durchsichtiger als im frischen Zustande, was aber oftmals vortheilhaft ist, z. B. wenn man in der Thoraxmuskulatur der Insecten die Luftgefässe und deren Verästelungen besser zur Ansicht bringen will.

7. Eine Solution von arsenigsaurem Kali in 160 Thln. Wasser. Eine solche habe ich mehrmals mit gleich gutem Erfolge, wie die vorhergehende, bei Nervenprimitivröhren angewendet.

8. **Glycerin.** Dieser Körper ist schon vor vielen Jahren von **Warrington** empfohlen worden; ich selbst habe ihn erst seit ein paar Jahren in Gebrauch gezogen. Natürlich muss das Glycerin möglichst rein und farblos sein, und man kann es in diesem Zustande mit 1 oder mit 2 Thln. Wasser verdünnen. Letzteres ist in den meisten Fällen vorzuziehen, weil das reine Glycerin stark lichtbrechend ist, und die Ränder der darin verwahrten Körper dadurch zu blass werden, man müsste denn zugleich ein Durchscheinendmachen des Objects im Auge haben. Das mit Wasser verdünnte Glycerin kann bei pflanzlichen Substanzen benutzt werden; doch gebe ich dazu der Chlorcalciumsolution noch immer den Vorzug, weil die Zellen in Glycerin immer braun werden. Von thierischen Geweben halten sich die Muskelprimitivbündel sehr gut darin. Auch die Knorpelsubstanz ändert sich nur wenig darin. Für Knochen- und Zahnpräparate kommt Glycerin dem Chlorcalcium gleich. Alle leimgebenden Gewebe werden darin ganz durchsichtig, dadurch aber treten die darin verbreiteten elastischen Fasern und die Zellen nur deutlicher hervor, was in einzelnen Fällen vortheilhaft ist. Für Nervenpräparate passt Glycerin weniger, ausgenommen um Durchschnitte des in Weingeist erhärteten und dann an der Luft getrockneten Rückenmarkes anzufeuchten. Man kann solche Schnitte sehr dünn machen, und werden sie mit Glycerin wieder aufgeweicht, so können sie eine allgemeine Uebersicht des Rückenmarksbaues geben und über die relative Lagerung der verschiedenen Elementartheile, der Ganglienzellen, der Fasern u. s. w. belehren.

9. Eine Solution von **Wasserglas**, der unrichtig sogenannte Wasserglasfirniss, ist erst seit Kurzem zur Aufbewahrung mikroskopischer Objecte in Gebrauch gekommen, so viel mir bekannt zuerst durch **Welcker** (Ueber Aufbewahrung u. s. w. S. 20), der durch **Phoebus** darauf aufmerksam gemacht wurde.

Ich habe noch zu wenig Erfahrung darüber, um ein entscheidendes Urtheil auszusprechen. Auch kommen als Wasserglas mehrere Körper im Handel vor, die eine verschiedene chemische Zusammensetzung haben und auch wohl für die Aufbewahrung mikroskopischer Objecte von ungleichem Werthe sind. Indessen zweifele ich, dass es einen der bisher aufgeführten Körper als Aufbewahrungsmittel ersetzen werde. Freilich lässt es sich eben so benutzen, wie Canadabalsam, nämlich als syrupsdicke Solution, die beim Verdunsten eine dünne Glasschicht hinterlässt, in welche das Object eingeschlossen bleibt. Hierzu eignen sich aber nur wenige Objecte, und die dazu passenden, wie Knochen-, Zahn-, Schalenpräparate u. s. w., zeigen die meisten Eigenthümlichkeiten ihres Baues eben so gut im Canadabalsam oder im Chlorcalcium. Dazu kommt, dass durch die Verdunstung leere, luftgefüllte Räume entstehen, was bei dem nach der Abkühlung erhärtenden Canadabalsame und bei der immer flüssig verbleibenden Chlorcalciumsolution nicht zu befürchten ist. Durchschnitte von Pflanzen und von weichen thierischen Geweben lassen sich

nur in stärker verdünnten Solutionen aufbewahren. Die ersteren halten sich aber besser in Chlorcalcium, und unter den letzteren ist es eigentlich nur das Sehnen- und Bindegewebe, wofür sich eine solche verdünnte Wasserglassolution besonders gut als Verwahrungsmittel eignet. Die übrigen Gewebe leiden darin mehr oder weniger, zum mindesten mehr als in der arsenigsauren Solution.

373 Den Canadabalsam und die syrupsdicke Wasserglassolution ausgenommen, verlangen alle genannten Aufbewahrungsmittel einen Kitt, wodurch die Flüssigkeit von der Luft abgeschlossen wird. Seit langer Zeit benutze ich dazu den sogenannten Goldgrund oder Goldleim, dessen sich die Spiegelvergolder bedienen, um das Goldblatt festzukleben. Dieser Leim wird aber auf folgende Weise zubereitet. Man lässt 1 Thl. Mennige und $^1/_5$ Umbra drei Stunden lang mit 25 Thln. Leinöl kochen und giesst dann das Oel ab. Mit diesem Oel wird hierauf ein Gemenge von gleichen Theilen Bleiweiss und gelber Ocker, beide geschlemmt und ganz fein vertheilt, sehr fein gerieben und gemengt, so dass ein ziemlich dicker Brei entsteht, den man dann noch einmal durchkochen lässt.

Seit vier Jahren benutze ich aber mit gleich gutem Erfolge den in England allgemein zu diesem Zwecke verwendeten schwarzen Feuerlack, womit die Lackirer den schwarzen Untergrund auf Blech herstellen. Es ist eine Flüssigkeit, die aber in der Form, worin sie von den Lackirern benutzt wird, zu dünn ist, um als Kitt bei mikroskopischen Präparaten zu dienen. Für diesen Zweck muss die Flüssigkeit bei mässiger Wärme eingedickt werden, bis sie bei gewöhnlicher Lufttemperatur die Consistenz von Syrup bekommt. Wäre die Abdampfung zu lange fortgesetzt und dadurch die Flüssigkeit zu stark eingedickt, so kann man durch Zusatz von etwas Terpentinöl nachhelfen.

374 Hat man ein Präparat angefertigt, das man in einer Flüssigkeit aufbewahren will, die vor dem Luftzutritte geschützt werden muss, und kann dasselbe einen gewissen Druck ertragen, so verfährt man damit auf folgende Weise.

Ist das Präparat mit Wasser befeuchtet gewesen, wie es bei Untersuchungen so häufig der Fall ist, so entfernt man zuvörderst die überflüssige Feuchtigkeit mittelst einer kleinen Rolle Fliesspapier oder mittelst des oben beschriebenen Pinsels (Fig. 147, S. 378). Feuchtigkeit, die sich in einiger Entfernung vom Präparate befindet, wischt man mit einem baumwollenen oder leinenen Läppchen weg, so dass die Glasoberfläche ganz trocken wird. Hierauf bringt man die zur Aufbewahrung bestimmte Flüssigkeit auf das Präparat, was am besten geschieht, wenn man diese Flüssigkeiten in Spritzfläschchen aufbewahrt. Die Flüssigkeitsmenge muss so bestellt sein, dass der Raum unter dem Deckplättchen späterhin ganz damit gefüllt ist, worin man sich bald die

gehörige Uebung aneignet. Nun kommt ein Deckplättchen, welches ein paar Millimeter kleiner ist als das Objecttäfelchen, mitten unter das letztere, d. h. unter jenen Theil, der weiterhin damit bedeckt werden soll. Jetzt taucht man einen Pinsel in den Kitt und zeichnet damit um die Flüssigkeit und das darin liegende Object herum ein Viereck, dergestalt, dass der Kitt 1 bis 2 Millimeter über die Ränder des Deckplättchens nach innen reicht. Hierauf kommt das Deckplättchen auf das Object zu liegen, und zuletzt werden auch seine Ränder noch mit Kitt bestrichen. Ist zu viel Flüssigkeit darin, so bahnt sich das Ueberflüssige einen Weg und es entsteht eine Oeffnung in dem Kitte unter dem Deckplättchen; dieses legt sich aber späterhin wieder an, wenn man das Bestreichen noch einmal wiederholt, nachdem die überschüssige Flüssigkeit entfernt worden ist oder eintrocknete.

Nach ein paar Tagen ist die äusserste Schicht des Kitts trocken geworden, während die inneren Schichten noch Wochen und Monate lang weich bleiben, und gerade das bedingt sein gutes Schliessungsvermögen; denn es entstehen so niemals Sprünge in demselben, wodurch die Flüssigkeit verdunsten könnte. Eine Menge von Präparaten, die ich auf diese Weise schon vor vielen Jahren anfertigte, haben sich ganz unverändert erhalten. Eine Hauptsache dabei ist, dass der Kitt den Raum zwischen dem Deckplättchen und dem Objecttäfelchen zum Theil erfüllt; das blosse Bestreichen der Ränder des Deckplättchens ist nicht ausreichend.

Ist bei der Beschaffenheit des Objects ein Druck unzulässig, dann 375
muss dasselbe in einem dazu bestimmten kleinen Troge aufbewahrt werden. Wie dieselben aus Kautschuk, aus Guttapercha, aus Glas sich herstellen lassen, ist bereits oben (§. 297) angegeben worden. Die Tiefe des zu benutzenden kleinen Apparats wird natürlich ganz durch die Dicke des Objects bedingt; das Deckplättchen muss aber auch hier etwas kleiner sein. Zuerst giebt man etwas von der Bewahrflüssigkeit in den kleinen Trog, hierauf legt man das Object hinein und bestreicht die oberen Ränder mit dem dort ebenfalls beschriebenen Guttaperchaleim. Nun füllt man den kleinen Trog ganz, so dass die Flüssigkeit etwas gewölbt den Rand überragt; beim Auflegen des Deckplättchens läuft daher die überschüssige Flüssigkeit ab und alle Luft aus dem kleinen Troge ist fortgeschafft. Zuletzt bestreicht man die getrockneten Ränder noch mit einer dicken Schicht Kitt, was nach ein paar Tagen wiederholt wird.

Diese Verschlussart passt besonders, wenn Injectionspräparate in arseniger Säure aufbewahrt werden sollen.

Recht gut ist auch die Welcker'sche Methode, dass man zur Seite des Deckplättchens, 3 bis 4 Millimeter von seinem Rande, einen 2 bis 3 Millimeter breiten Glasstreifen aufklebt, mit dem oben beschriebenen Kitte oder mit Canadabalsam. Das Präparat wird hierdurch gegen

Druck geschützt, und man kann bei Versendungen mehrere solche Präparate über einander legen.

376 Wer sich mit solchen Präparaten beschäftigt, der muss natürlich darauf gefasst sein, dass einzelne nach Verfluss einer kürzeren oder längeren Zeit durch irgend eine Ursache misrathen gefunden werden. Indessen werden es nur wenige sein, wenn die vorstehenden Vorschriften befolgt worden sind. Findet man die Präparate nach einigen Monaten noch gut, so kann man nun daran denken, sie zu etikettiren, zu numeriren und in den betreffenden Katalog einzutragen. Wo kein Kitt dabei ist, also bei den trockenen und in Canadabalsam aufbewahrten Präparaten, da braucht man blos ein farbiges Papier aufzukleben, was zur Nettigkeit und zum bessern Aussehen beiträgt.

In der letzten Zeit bin ich mehr und mehr zweifelhaft darüber geworden, ob es rathsam sei, auch die übrigen mit einem Kitt versehenen Präparate auf gleiche Weise zu überkleben. Durch den wechselnden Wärme- und Feuchtigkeitsgrad der Luft schrumpft das Papier periodisch zusammen und schwillt wieder auf, so dass es abwechselnd mehr oder weniger auf das Deckgläschen drückt, und durch diese andauernden Bewegungen kann leicht eine Beschädigung des Kitts eintreten. Hierin finde ich wenigstens den eigentlichen Grund, weshalb manche Präparate, die solchergestalt mit Papier überklebt waren, nachdem sie sich Jahre lang unverändert erhalten hatten, zuletzt doch noch vertrockneten. Werden die Präparate nicht überklebt, so kann man auch noch zur Vorsicht von Zeit zu Zeit eine frische Schicht Kitt auftragen.

Hat man viele derartige Präparate gesammelt, so kann man sie in besonderen Kästen aufbewahren, die natürlich nur eine geringe Tiefe haben dürfen. Es ist aber gut, wenn alle jene Präparate, bei denen eine Flüssigkeit als Bewahrmittel dient, zu liegen kommen. Am einfachsten ist es, wenn in jedes Kästchen eine mit weissem Papier überklebte Pappe kommt, aus welcher in gehörigen Entfernungen länglich-viereckige Streifen ausgeschnitten sind, nach der Form der Objecttäfelchen, nur etwas grösser. Auf die Hinterseite der Pappe ist schwarzes Papier geklebt, dessen schwarze Oberfläche nach innen sieht. So hat man eine Anzahl Fächer, in deren jedes ein Präparat kommt. Mittelst eines seitlich angebrachten Stückchens Band kann es leicht heraus gehoben werden.

377 Es kann vortheilhaft sein, bei angefertigten Präparaten genau die Stelle anzugeben, wo sich irgend ein kleines, dem blossen Auge nicht sichtbares Körperchen befindet, damit man es späterhin sogleich ohne Mühe wieder finden und auch gewiss sein könne, dass es wirklich das früher gesehene ist.

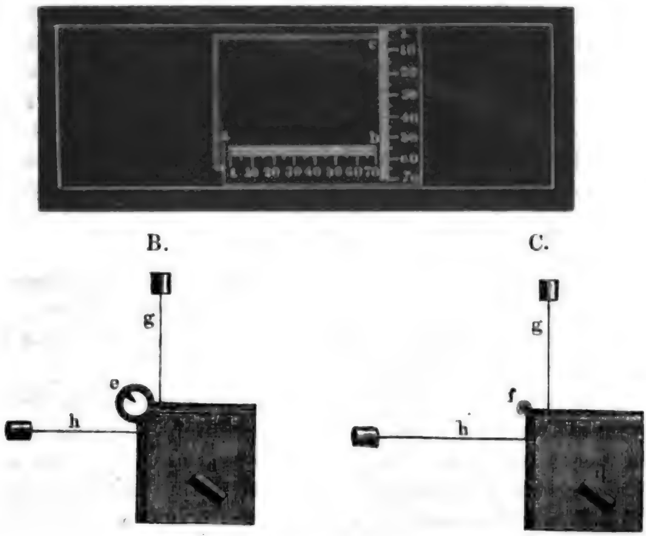
Dieses Bedürfniss hat mehrfach Veranlassung gegeben, einen I n d i c a t o r oder F i n d e r auszudenken. Ich muss aber darüber auf das fol-

gende Buch verweisen, da zusammengesetzte Einrichtungen, gleichwie diese Finder sich in mehr oder weniger hohem Grade herauszustellen pflegen, sich durchaus nicht als praktisch brauchbar bewähren.

Dagegen ist folgendes Mittel, dessen ich mich seit einigen Jahren bediene, ganz einfach, und es macht alle dergleichen Einrichtungen ganz überflüssig. Es ist Fig. 213 abgebildet. Am vordern Rande sowie an

Fig. 213. A.

B. C.



Harting's Indicator.

dem rechtssehenden Rande des Deckplättchens werden Papierstreifchen (*A. ab* und *bc*) aufgeklebt mit einer Theilung, wie auf einem Maassstabe. Um nicht genöthigt zu sein, immer wieder eine solche getheilte Scala mit der Feder zu zeichnen, habe ich sie lithographiren lassen. Jede von den kleinen Abtheilungen ist $^1/_3$ Millimeter gross. Die Rückseite der Streifen wird mit Gummiwasser bestrichen. Man braucht daher bei der Benutzung nur die getheilten Scalen mit einer Scheere abzuschneiden, anzufeuchten und aufzukleben.

Die Stelle, wo sich das fragliche Körperchen befindet, bestimmt man mittelst dieser zwei Scalen ganz ebenso, wie bei Ortsbestimmungen unseres Erdballs: die Länge und Breite des bestimmten Punktes wird durch zwei Coordinaten, d. h. einander rechtwinkelig schneidende Linien angegeben, die mit den Rändern des Deckglases und des Objecttäfelchens parallel sind. Kennt man die beiden Punkte, wo beide Linien die auf das Deckplättchen geklebten getheilten Scalen schneiden, so ist nun ein für alle Mal die Stelle des Körperchens durch zwei Zahlen bezeichnet, die man einträgt. Man kann dazu jedes rechtwinkelig geschnittene Stück-

chen Papier nehmen, dessen den rechten Winkel einschliessende Ränder beim Auflegen auf das Deckplättchen die beiden Scalen senkrecht schneiden, während die Ecke ganz genau der gesuchten Stelle entspricht. Schickt man ein solches Präparat einem andern zu und giebt die beiden Zahlen der Scalen an, wodurch die Stelle des Objects signirt wird, so braucht der Empfänger nur ein genau rechteckig geschnittenes Stück Papier auf die nämliche Weise auf das Präparat zu legen, und er findet nun sicher an der Ecke des Papiers das Object.

Zur ersten Auffindung der Stelle des Objects in der Mitte des mikroskopischen Gesichtsfeldes eignet sich aber ein Stückchen Papier nicht so gut als ein messingenes Täfelchen. Denn wenn das erstere dünn ist, so kann es sich leicht biegen und Falten bilden, wo es dann nicht ganz eben auf dem Deckplättchen aufliegt und sich auch nicht gut festhalten lässt. Deshalb ziehe ich ein viereckiges messingenes Täfelchen (*B*) vor, welches an den zum Gebrauche bestimmten, die rechtwinkelige Ecke umschliessenden Seiten scharf zugefeilt ist. Um es festzuhalten, ist eine kleine, länglich viereckige Leiste (*d*) darauf gelöthet, die schief steht, so dass, wenn sie mit einer Pincette gefasst und das Täfelchen unterm Mikroskope rechtwinkelig auf das Deckplättchen gelegt wird, die günstigste Stellung für die Hand herauskommt, die man übrigens dabei mit Vortheil auf eine Unterlage stützen wird.

Statt der scharfen Ecke, die leicht abgestumpft werden könnte, hat übrigens das Täfelchen einen kleinen ringförmigen Ansatz (*B. e*), der nur dazu dienen soll, eine kleine Spitze oder einen Weiser zu schützen, dessen Ende gerade dem Punkte entspricht, wo die beiden die rechtwinkelige Ecke einschliessenden Ränder in der Verlängerung zusammentreffen würden.

Gleich gut, wenn nicht vielleicht selbst noch besser, ist die bei *C* dargestellte Einrichtung. Hier hat der kleine ringförmige Ansatz (*f*) eine ganz feine runde Oeffnung von etwa $^1/_5$ Millimeter, dessen Mittelpunkt aber jene Stelle bezeichnet.

Endlich muss ein solches Täfelchen noch zwei Gegengewichte (*g* und *h*) haben, damit es nicht vom Deckplättchen fällt, wenn sich das Object weit von der Mitte entfernt befindet. Diese Gegengewichte sind aber nichts anderes, als feine Messingdrähte mit kleinen kurzen Cylinderchen am freien Ende, und schwach abwärts gebogen.

Hat man sich mit einem solchen Täfelchen als Finder etwas geübt, so hält es nicht schwer, bei Vergrösserungen von 50 bis 200 Mal, ja noch mehr, damit die Stelle genau genug zu bestimmen, so dass man um weniger als $^1/_3$ Millimeter in beiden Richtungen, also bis auf $^1/_9$ Quadratmillimeter sicher ist. Das ist aber dem Zwecke ganz entsprechend.

Diese Einrichtung entspricht also den Forderungen eines allgemeinen Indicators aufs vollständigste und sie macht alle übrigen derartigen Vorkehrungen überflüssig. Man kann sie auch im Verlaufe einer gewöhnlichen Untersuchung benutzen, wo man nach einander eine Reihe

von Präparaten anfertigt, nicht gerade in der Absicht, dieselben alle in die Sammlung aufzunehmen.

Einfacher und praktischer ist aber dann noch eine andere Methode, mit der ich vor Kurzem durch H. Hoffmann bekannt wurde. Dieser hat nämlich auf den Objecttisch seines Mikroskops, zu beiden Seiten der Oeffnung, zwei Kreuze eingeschnitten, das eine so geformt (×), das andere so geformt (+). Hat man nun etwas im Gesichtsfelde, was man späterhin schnell wieder dahin zu bringen wünscht, so werden mit Dinte zwei ähnliche Kreuze, gerade über jenen des Objecttisches, auf das Glastäfelchen gezeichnet, und damit ist die Stelle des Objects fixirt. Wird nämlich das Glastäfelchen späterhin wieder so auf den Objecttisch gebracht, dass die gleichen Kreuzungspunkte einander decken, wobei die verschiedene Gestalt der Kreuze über den vordern und hintern Rand des Täfelchens hinreichenden Aufschluss giebt, dann muss auch das Object wiederum so ziemlich in seiner frühern Stellung sein.

Endlich will ich noch ein Verfahren mittheilen, welches sich bei 378
Demonstrationen sehr vortheilhaft bewährt, wenn man einem, der durchs Mikroskop sieht, ein Object oder einen Theil eines Objects anzeigen will. Dasselbe beruht auf dem nämlichen Principe, welches ich für die Flächenmessung in Anwendung gezogen habe (S. 542); es wird nämlich mittelst des achromatischen Beleuchtungsapparats im Gesichtsfelde ein Bild hervorgerufen, welches gleichzeitig mit dem Objecte zur Ansicht gelangt.

Das lässt sich auf verschiedene Art erreichen. Man zeichnet z. B. auf eine Fensterscheibe, wodurch Licht aufs Mikroskop fällt, mit Dinte oder noch besser mit schwarzer Farbe ein viereckiges Feld oder einen kleinen Kreis, oder auch mehrere, die alle mit einer Zahl versehen sind. Durch Bewegung des ebenen Spiegels und der achromatischen Linse oder des achromatischen Linsensystems, die sich unter dem Objecttische befinden, kann man dann ihre Bilder auf jene Punkte des Gesichtsfeldes bringen, welche betrachtet werden sollen. Statt der auf Glas gezeichneten Figuren kann man auch eine Metallnadel verwenden, die auf die eine oder die andere Weise in die Bahn der Lichtstrahlen gebracht wird, so dass ihr Bild im Gesichtsfelde erscheint, wo dann die Spitze dem bestimmten Punkte zugekehrt wird.

Es sind natürlich noch mancherlei Modificationen hierin möglich, die für besondere Fälle in Anwendung kommen können. Nur bei sehr starken Vergrösserungen könnte dieses Verfahren weniger gut zu passen scheinen, weil dann die Bilder, welche als Indicatoren dienen, selbst zu gross werden und dabei auch an Schärfe verlieren.

Dem erstern Uebelstande lässt sich auf eine dreifache Weise abhelfen:

a. man verkleinert das Object, von welchem ein Bild entworfen wird, also das kleine Viereck, den Kreis, die Nadel u. s. w.;

b. man nimmt ein stärkeres Linsensystem in den Beleuchtungsapparat;

c. man vergrössert die Entfernung zwischen Object und Mikroskop.

Der zweite Uebelstand ist aber noch weniger erheblich. Hat auch das Bild bereits alle Schärfe verloren, so dass seine Ränder ganz nebelartig erscheinen, so ist es doch für den Zweck, wozu es hier gebraucht wird, selbst bei einer 5- bis 600maligen Vergrösserung, noch ausreichend deutlich wahrnehmbar.

Drittes Buch.

Geschichte und gegenwärtiger Zustand

des

Mikroskops und der Hülfsapparate

bei

mikroskopischen Untersuchungen.

Zur gründlichen Erforschung eines Dinges bieten sich meistens zwei Wege dar: erstens nämlich eine genaue und allseitige Betrachtung dieses Dinges, wie sich dasselbe im Augenblicke der Untersuchung gerade darstellen mag, und zweitens die Nachforschung, wie der gegenwärtige Zustand des Dinges aus dem frühern allmälig sich entwickelt hat. 379

Namentlich gilt dies von allen in den Naturwissenschaften gebräuchlichen Instrumenten. Alle solche Instrumente haben ihre eigene Geschichte, die eine wahre Entwickelungsgeschichte heissen kann, und man darf wohl behaupten, dass nichts besser dazu geeignet ist, über die Bedeutung und die Bestimmung der einzelnen Theile eines solchen Instruments klare Einsicht zu verschaffen, als wenn man untersucht, wie dieselben im Verlaufe der Zeit durch stufenweise Verbesserungen daran entstanden sind.

Es würde nicht schwer fallen, an verschiedenen Instrumenten die Wahrheit dieses Satzes nachzuweisen; doch dürfte vielleicht kein anderes so deutlich sprechende Beweise für dessen Richtigkeit bieten können als das Mikroskop.

Wenn im ersten Buche die verschiedenen Arten von Mikroskopen nur im Allgemeinen betrachtet und beschrieben worden sind und dabei absichtlich der von dem einen oder dem andern Optikus gefertigten Instrumente nicht weiter gedacht wurde, als zum gehörigen Verständniss der Sachen gerade erforderlich war, so ist nun dieses dritte Buch der besondern Beschreibung der Mikroskope und der bei mikroskopischen Untersuchungen benutzten Instrumente gewidmet, vom ersten Zeitpunkte ihrer Verfertigung an bis auf den heutigen Tag. Das Instrument, welches in den Händen der heutigen Naturforscher ein so mächtiges Hülfsmittel geworden ist, um damit in die geheimsten Schlupfwinkel der Schöpfung einzudringen, soll von seinem ersten Beginnen durch die verschiedenen Entwickelungsstadien, die es nacheinander durchlaufen hat, verfolgt werden, bis es endlich jene hohe Stufe der Vollkommenheit erreicht hat, auf der wir es jetzt kennen.

Eine solche Geschichte ist nicht blos insofern lehrreich, als sie zu

dem genannten Ziele verhilft, eine genaue Kenntniss des Instruments selbst und seiner einzelnen Theile herbeizuführen, sondern auch als ein Abschnitt der allgemeinen Kulturgeschichte der Menschheit. Die successiven Verbesserungen am Mikroskope sind meistens nur getreue Spiegel der jeweiligen praktischen Mechanik und der Fortschritte in der Optik.

Ein paar Male werden wir im Verlaufe dieser historischen Darstellung auf vergebliche Bestrebungen, auf fruchtlose Versuche zu reden kommen. Mit Stillschweigen dürfen wir dieselben aber nicht übergehen, denn alle diese Versuche haben doch einen gewissen Grund, und es ist ganz gut, wenn man nachträglich den Ursachen nachgeht, auf welche das Missglücken dieses oder jenes Versuchs zurückzuführen ist. Ueberdies findet gerade hier das von einem grossen Dichter ausgesprochene Wort seine volle Anwendung: Alles menschliche Wissen geht nicht in gerader Linie vorwärts, sondern stets in einer Spirale.

Eine solche historische Durchmusterung hat aber auch noch eine anziehende Seite. Sie giebt uns Gelegenheit, den Zoll der Dankbarkeit auch an jene abzutragen, durch deren Verstand und Thätigkeit wir mit den Mitteln ausgerüstet worden sind, unsere Kenntnisse zu bereichern und mitzuwirken zur Ausbreitung des Wissens über die Natur und deren Erscheinungen. Wir stehen auf jener Schultern und sollen dies nie vergessen.

380 In der Geschichte des Mikroskops lassen sich vier Perioden unterscheiden.

Zu der ersten Periode zählt, was von den frühesten Zeiten her bekannt gewesen ist über die Mittel zur Vergrösserung der Objecte. Sie reicht ungefähr bis zum Jahre 1300 unserer Zeitrechnung, um welche Zeit etwa die Eigenschaften der convexen und concaven Linsen und die Mittel zu ihrer Darstellung allgemeiner bekannt wurden.

Die zweite Periode reicht etwa bis zum Jahre 1600, wo das zusammengesetzte Mikroskop erfunden wurde und wo man auch anfing, die Lupe oder das einfache Mikroskop zu Untersuchungen zu benutzen.

Die dritte Periode endigt mit dem Jahre 1824, wo man zuerst die richtigen Mittel in Anwendung brachte, das Mikroskop von der sphärischen und chromatischen Aberration zu befreien, wenngleich schon früher zum Theil recht gut berechnete Versuche vorausgegangen waren.

Die vierte Periode reicht bis auf die gegenwärtige Zeit.

381 Man darf aber nicht vergessen, dass das Wort Mikroskop eigentlich eine Collectivbezeichnung ist (§. 1 und 2). Man begreift darunter verschiedene Instrumente, die zwar alle darin übereinstimmen, dass sie ein vergrössertes Bild kleiner Gegenstände hervorbringen können, die aber sonst in vielerlei Beziehungen, was ihre Zusammensetzung und den beabsichtigten Zweck betrifft, unter einander verschieden sind. Jedes

von diesen Instrumenten hat daher bis zu einem gewissen Punkte hin seine eigene Geschichte.

Um die historische Uebersicht zu erleichtern, werde ich mich deshalb im Folgenden nicht streng an die Eintheilung in vier Perioden halten. Es scheint mir passender, wenn ich zuerst mittheile, welche Mittel im Alterthume bekannt waren, um Gegenstände vergrössert zu sehen; hierauf werde ich über die Entdeckung der convexen und concaven Linsen und deren Vereinigung zum zusammengesetzten Mikroskope handeln; weiterhin werde ich die als Mikroskop benannten Instrumente einzeln durchgehen; zum Schlusse aber sollen die verschiedenen zur mikroskopischen Untersuchung benutzten Apparate betrachtet werden, sowie die Methoden der Zubereitung und der Aufbewahrung mikroskopischer Objecte.

Erster Abschnitt.

Die im Alterthume benutzten Vergrösserungsmittel.

---

382 Es ist früher (§. 16 u. 42) dargethan worden, dass man auf zweierlei Art ein vergrössertes Bild eines Gegenstandes bekommen kann: mittelst durchsichtiger Körper mit gewölbter Oberfläche und mittelst concaver Spiegel. Die dioptrische Methode sowohl als die katoptrische hat man beim Mikroskope benutzt, und wir wollen nun nachsehen, was die Alten davon gewusst haben.

383 Die Kunst, aus Glas und anderen durchsichtigen Körpern convexe und concave Linsen zu schleifen, führt auf eine weit ältere Kunst zurück, auf das Steinschleifen im Allgemeinen. Dieses war schon im hohen Alterthume den Völkern im Oriente sowie den Aegyptern bekannt, und von da gelangte es nach Griechenland und nach Italien, worüber die besonderen Schriften über das Schleifen und Graviren auf Steine bei den Alten von Vettori, Natter, Lippert, Klotz, sowie Lessing's antiquarische Briefe nachzusehen sind. Es ist hinlänglich bekannt, bis zu welcher bewundernswürdigen Höhe die Alten in der Anfertigung von Intagli und Cameen, die noch jetzt die Zierden von Antiquitätensammlungen sind, sich erhoben haben; dem Graviren der dazu benutzten Steine musste aber immer ein Schleifen und Poliren der Oberfläche vorausgehen. Sie verstanden aber auch eben so gut, edeln Steinen, die nicht zum Graviren verwandt wurden, durchs Schleifen verschiedene Formen zu geben. Plinius (*Hist. nat.* Lib. 37, Cap. 12) drückt sich über die verschiedenen Formen, welche man den Edelsteinen gab, folgendermaassen aus: *Cavae aut extuberantes viliores videntur aequalibus; figura oblonga maxime probatur, deinde quae vocatur lenticula, postea epipedos et rotunda, angulosis autem minima gratia.*

Dass die alten Künstler nicht blos gerade Flächen schliffen, sondern den Steinen auch die Form convexer und concaver Linsen gaben, kann man in den Sammlungen sehen. Es kommen hier Steine mit beiderlei Formen vor, deren Alter nach Lippert auf mehr denn 3000 Jahre zu schätzen ist.

Manche von diesen linsenförmigen Steinen bestehen aus Bergkrystall, andere aus Beryll; sie sind daher durchscheinend. Das hohe Alterthum linsenförmig geschliffener Stücke Bergkrystall wird auch ganz sicher dadurch dargethan, dass Layard eine derartige planconvexe Linse in den Ruinen von Niniveh gefunden hat, mitten unter broncenen und sonstigen kostbaren Gegenständen. Brewster zeigte diese Linse im Jahre 1852 in der Versammlung der *British Association* vor. Sie ist nicht ganz rund, sondern hat 1,6 engl. Zoll in dem einen Durchmesser, 1,4 engl. Zoll in dem andern. Die gerade Fläche entspricht einer der ursprünglichen Krystallflächen, wie man aus der Einwirkung auf das polarisirte Licht entnehmen kann. Die Form der convexen Oberfläche berechtigte Brewster zu dem Schlusse, dass der Schliff nicht in einer näpfchenförmigen Aushöhlung, sondern auf einem Steinschleiferrade oder einem ähnlichen Apparate ausgeführt worden ist. Die Linse ist 0,2 Zoll dick, und ihre Brennweite beträgt 4,2 Zoll.

Es ist wohl kaum einem Zweifel unterworfen, dass jene, die solche linsenförmige durchsichtige Steine anfertigten, auch deren vergrössernde Kraft wahrgenommen haben müssen. Gleichwohl findet sich in den Schriften der Alten nirgends ein Beweis dafür. Priestley (*The history and present state of Discoveries relating to vision, light and colours.* London 1772, p. 8) bemerkt über diese geschliffenen linsen- und kugelförmigen Steine, die er aus nicht näher entwickelten Gründen als den Druiden zugehörig ansieht, Folgendes: „Sie sind aus Bergkrystall in verschiedenen Formen gemacht; es kommen sphärische darunter vor und auch linsenförmige. Sie sind zwar nicht ganz vollkommen ausgeführt, dass sie alles leisten könnten, was bei einer genauern Arbeit von ihnen zu erwarten wäre; aber die Arbeit ist doch so weit gelungen, dass man unmöglich annehmen kann, ihre Wirkung, wenigstens ihre Vergrösserung, hätte denen unbekannt bleiben können, die öfters damit verkehrten, wenn nicht vielleicht gar die sphärischen oder linsenförmigen ausdrücklich dazu bestimmt waren, als Vergrösserungs- oder Brenngläser benutzt zu werden.“

Nur Eine Stelle kommt bei den Alten vor, die darauf hindeutet, dass eine Linse als dioptrisches Hülfsmittel benutzt wurde. In Vettori's *Diss. glyptographica. Rom* (1739) ist zuerst auf folgende Stelle bei Plinius (Lib. 37, Cap. 5) hingewiesen, wo vom Smaragde die Rede ist: *Praeterea longinquo amplificantur visu inficientes circa se repercussum aëra, non sole mutati, non umbra, non lucernis, semperque sensim radiantes et visum admittentes, ad crassitudinem sui facilitate translucida, quod etiam in aquis nos juvat. Iidem plerumque concavi, ut visum colligant; quamobrem decreto hominum iis parcitur scalpi vetitis, quamquam Scythicorum Aegyptiorumque*

duritia tanta est, ut non queant vulnerari. Quorum vero corpus extensum est, eadem qua specula ratione supinis rebus imaginem reddunt. *Nero princeps gladiatorum pugnas spectabat in smaragdo.* Es ist diese Stelle insofern etwas dunkel, als nicht mit Bestimmtheit daraus entnommen werden kann, ob Nero's Smaragd hohl geschliffen war, oder ob er zu denen gehörte, „*quorum corpus extensum est*", die also nicht hohl, sondern geradflächig waren. Da nun aber angegeben wird, dass die letzteren als Spiegel gebraucht werden konnten, und es von Nero heisst, er habe hindurchgesehen, so ist es wahrscheinlicher, dass Nero einen hohlgeschliffenen Smaragd besass, der in der Mitte dünn genug war, dass man hindurchsehen konnte. Berücksichtigt man ferner, dass Suetonius (Nero, Cap. 51) dem Nero ein schwaches und stumpfes Gesicht (*oculis caesiis et hebetioribus*) zuschreibt, Plinius (Lib. 11, Cap. 37, Sect. 54) aber von dem Myopen Nero spricht (*Neroni nisi quum conniveret ad prope admota* [*oculi*] *hebetes*), so wird man es in der That sehr wahrscheinlich finden, dass hier das erste Beispiel vorliegt, wo eine Hohllinse zu dem Zwecke benutzt wurde, wofür man auch jetzt noch eine Brille mit Hohlgläsern oder eine Lorgnette zu gebrauchen pflegt.

Geschieht nun auch der Vergrösserung durch Linsen in den Schriften der Alten sonst nirgends Erwähnung, so hatte man diese Erscheinung doch an hohlen, mit Wasser gefüllten Kugeln wahrgenommen. Der im ersten Jahrhundert unserer Zeitrechnung lebende Seneca (*Nat. Quaest.* Lib. I, Cap. 3) sagt: *Poma per vitrum adspicientibus multo majora sunt*, und daran reiht sich in gewisser Beziehung eine weiterhin (Cap. 6) vorkommende Stelle: *Poma formosiora quam sunt videntur, si innatant vitro.* Ferner sagt er auch in demselben sechsten Kapitel: *Literae quamvis minutae et obscurae per vitream pilam aqua plenam majores clarioresque cernuntur.* Man würde aber sehr irren, wenn man daraus schliessen wollte, Seneca bringe die Erscheinung auf Rechnung der kugeligen Gestalt des Gefässes. Denn unmittelbar vorher heisst es: *Illud adjiciam, omnia per aquam videntibus longe esse majora.* Die eigentliche Ursache der Vergrösserung findet er also im Wasser.

Ueber das Vorkommen geschliffener Gläser bei den Alten fehlt es nicht an beweisenden Stellen. So bemerkt Plinius (Lib. 37, Cap. 7 u. 8) wiederholt, es würden falsche Diamanten aus Glas gemacht. Bei Seneca (l. c. Cap. 7) liesst man aber: *Virgula solet fieri vitrea . . . .; haec si ex transverso solem accipit, colorem talem qualis in arcu videri solet reddit*, und weiterhin: *si apta fabricata foret, totidem redderet soles, quot habuisset inspectiones* (*insecturas?*) Hier ist offenbar von einem mit Kanten versehenen Stabe die Rede, der nicht durch Blasen diese Form angenommen haben konnte, sondern entweder durch Schleifen oder durch Giessen. Noch deutlicher übrigens spricht sich Plinius (Lib. 36, Cap. 26) aus, wo er vom Glase handelt: *Aliud flatu figuratur, aliud torno teritur, aliud argenti modo coelatur. Sidone quondam his officinis nobili, si quidem etiam specula excogitaverat. Haec fuit antiqua ratio vitri.*

Aus anderen Stellen ersieht man sodann, dass die Alten noch früher im Besitze von Brenngläsern gewesen sind. So hat Delahire (*Hist. de l'Acad. royale* 1708. cf. Smith *Opticks* II, p. 15) zuerst darauf aufmerksam gemacht, dass bei Aristophanes, der im fünften Jahrhundert vor Christus lebte, und zwar in den Wolken (Act. 2, Sc. 1), eines damals gut bekannten Glases Erwähnung geschieht, um mit Hülfe der Sonnenstrahlen Papier in einiger Entfernung in Brand zu stecken. Andere Stellen, welche für das Vorkommen von Brenngläsern bei den Alten sprechen, findet man bei Waller (*Philos. Exper. and Observ. by Hooker* etc. p. 348) gesammelt, der daraus den Schluss zieht, die erwähnten Brenngläser seien keine convexen Linsen, sondern vollkommene Kugeln gewesen, und einerseits hätten sie die Chirurgen als Cauterisationsmittel benutzt, andererseits die Vestalinnen, um ihr Feuer anzuzünden. Aus der Stelle bei Aristophanes folgert aber Delahire mit Recht, das Glas, wovon dort die Rede ist, könne keine Kugel gewesen sein, sondern eine Linse, weil das Papier in einiger Entfernung in Brand gesteckt werden soll, was ja kaum auf eine Kugel Anwendung finden kann, die immer nur eine sehr kleine Brennweite hat.

Bei Plinius (Lib. 37, Cap. 2) liest man: *Invenio apud medicos, quae sint urenda corporum, non aliter utilius uri putari, quam crystallina pila adversis opposita solis radiis*, und das scheint wirklich auf eine krystallene, das heisst gläserne Kugel oder Linse hinzudeuten. Doch an einer andern Stelle (Lib. 36, Cap. 26) schreibt er dieses zündende Vermögen einer mit Wasser gefüllten gläsernen Kugel zu: *Est autem caloris impatiens (vitrum), nisi praecedat frigidus liquor, quum addita aqua vitreae pilae sole adverso in tantum candescant, ut vestes exurant.*

Ein schwacher Beweis dafür, dass die Alten wirklich Vergrösserungsgläser besessen haben müssen, wird auch darin gefunden, dass unter den auf uns gekommenen Kunstproducten der Alten manche einer ganz ungemein feinen Ausführung sich erfreuen, die ohne Benutzung eines Vergrösserungsmittels kaum erreichbar gewesen zu sein scheint. So sagt Vettori (l. c. p. 107): *Exstant in Museo Victorio gemmae aliquae ita parvulae, ut lenticulae granum illis duplo major sit; et tamen in iis vel semiexstantes figurae, vel incisae pariter spectantur, opera in area tam parvula sane admirando, quas oculo nudo vix incisas esse judicaveris.* In der *Histoire de l'Academie des Inscriptions* (T. I, p. 270) findet sich die Beschreibung eines Siegels, welches dem blossen Auge ein ganz verwirrtes und unkenntliches Bild giebt, das sich aber unterm Mikroskope als eine bewundernswürdige Arbeit darstellt. Es ist dies das sogenannte Siegel des Michel Angelo auf Carneol. Nach der Abbildung hat es 15 Millimeter Länge auf 12 Millimeter Breite, und ausser mancherlei Nebendingen sind in diesem Raume nicht weniger als 17 Bilder von Menschen und Thieren gravirt. Es stellt einen Festzug dar zu Ehren der Geburt des Bacchus, oder nach Anderen ist darin das von Theseus eingesetzte Fest der Athene dargestellt, die Pyanepsien.

Es kann aber auch dieses Siegel gleich anderen feinen Arbeiten durch mechanische Hülfsmittel geschnitten sein, nach einer der jetzt zu diesem Zwecke benutzten Methoden. So zeigte Arago (*Comptes rendus*, 1845. XXI, Nro. 3) der französischen Akademie eine in Kupfer gestochene Karte von ganz Frankreich vor, welche Paulowicz mittelst eines von ihm erfundenen Instruments, des sogenannten Pantographen, in sehr kleinem Maassstabe ausgeführt hatte. Die ganze Karte hatte nur einen Durchmesser von kaum drei Centimeter, und doch unterschied man mittelst einer Lupe die Linien und die Namen der Oerter ganz genau. Ein noch auffallenderes Beispiel von feiner Bewegung der Hand durch mechanische Mittel liefert aber der mikroskopische Schreibapparat von Peters, welcher in den *Transact. of the Microsc. Society* (*Quart. Journ. of Microsc. Sc.* 1855, Nr. 12, p. 55) ausführlich beschrieben und abgebildet ist. Wesentlich stellt er ein System vernünftig combinirter Hebel dar, wodurch die Bewegung einer Diamantspitze, welche Buchstaben auf ein Glasplättchen schreibt, so sehr verlangsamt wird, dass diese linear 110 bis 6250 Male, oder quadratisch 12000 bis 3900000 Male kleiner sind, als wenn sie mit der nämlichen Bewegung der Hand, jedoch ohne Beiwirkung des Apparats, geschrieben würden. Der Verfertiger schrieb damit das Vaterunser auf 6 Zeilen mit Buchstaben von $^1/_{10000}$ Zoll Höhe; es nahm $^1/_{150000}$ Quadratzoll ein. Die Wirkung des Apparats ist so leicht und sicher, dass Dr. Carpenter, der Präsident der *Microsc. Society*, gleich beim ersten Versuche drei Zeilen auf noch nicht $^1/_{10000}$ Quadratzoll schrieb, und bei der mikroskopischen Untersuchung ergab es sich, dass an den Buchstaben, die nur $^1/_{1150}$ Zoll hoch waren, die Eigenthümlichkeit der Handschrift sich doch deutlich erkennen liess.

Dass nun die Alten zur Herstellung ihrer Intagli und Cameen mechanische Hülfsmittel benutzten, namentlich ein Rad und dadurch bewegte eiserne Spitzen, ist eine bekannte Sache; desgleichen, dass sie auch in Eisen gefasste Diamantsplitter dazu verwendeten. S. Lessing's antiquarische Briefe, wo folgende Stelle aus Plinius (Lib. 37, Cap. 4, Sect 15) angezogen ist: *Adamas, cum feliciter cumpi contigit in tam parvas frangtur crustas ut cerni vix possint; expetuntur hae scalptoribus ferroque includuntur nullam non duritiam ex facili cavantes.*

Es fragt sich daher, ob die Steinschneider im Alterthume die ganz kleinen, dem blossen Auge fast unsichtbaren Figuren auf die gleiche Art zu Stande gebracht haben, wie es noch heut zu Tage auf unseren Modellirbänken geschieht, nämlich durch mechanische Verkleinerung grösserer, erhaben bossirter Figuren.

Unter den Kunstwerken der Alten endlich, die schwerlich ohne Mithülfe einer Lupe zu Stande gebracht werden konnten, sind auch jene zu nennen, von denen Plinius (Lib. 7, Cap. 21) berichtet. So erzählt er auf die Autorität des Cicero hin, ein gewisser Strabo habe die ganze Ilias auf ein Blatt geschrieben, das in einer Nuss aufbewahrt werden konnte. Callicrates soll aus Elfenbein Fliegen und andere kleine

Thiere nachgemacht haben, deren einzelne Theile von Anderen nicht erkannt werden konnten. Myrmecides aber machte sich durch einen vierspännigen Wagen aus Elfenbein berühmt, so klein, dass ihn die Flügel einer Fliege deckten, sowie durch ein Schiff, welches durch die Flügel einer Biene gedeckt wurde.

Aus dem einen und dem andern darf man daher schliessen: 384

1. dass die Alten im Besitze der Kunst waren, durchsichtige sowohl wie undurchsichtige Steine zu schleifen und zu poliren;

2. dass sie diesen Steinen zuweilen die Form concaver oder convexer Linsen gaben;

3. dass sie neben dem Glasblasen auch die Kunst des Glasgiessens und Glasschleifens verstanden;

4. dass sie kugelförmige und auch linsenförmig geschliffene Gläser als Brenngläser benutzten;

5. dass sie beobachtet hatten, durch mit Wasser gefüllte gewölbte Flaschen erschienen die dahinter befindlichen Gegenstände vergrössert. Zwar scheint nirgends mit Bestimmtheit einer Vergrösserung durch linsenförmig oder kugelförmig geschliffene Gläser Erwähnung zu geschehen; man muss es aber fast für unmöglich halten, dass dieses Vermögen denen habe entgehen können, die sich solcher Gläser häufig bedienten.

Manche haben selbst Andeutungen von optischen Instrumenten bei den alten Autoren finden wollen. Nach Molyneux (*Treatise of Dioptricks*. Lond. 1692, p. 253) führt Paucirollus in seiner Schrift *De rebus inventis*, Tit. 15, angeblich aus Plautus folgende Stelle an: *Cedo vitrum, necesse est conspicillo uti.* Nach Molyneux ist dieses Citat aber falsch und die Stelle nirgends zu finden.

Aus dem christlichen Autor Pisidas, der im 7. Jahrhundert in Constantinopel lebte, theilt Junius folgenden Satz mit: *τα μελλοντα ὡς δια διοπτρον συ βλεπεις* (Jones, *An Essay on the first Principles of Natural philosophy*, Oxf. 1762, p. 277). Welches Instrument, um zukünftige Dinge dadurch sichtbar zu machen, unter dem Worte *διοπτρον* hier gemeint ist, lässt sich schwer ausmachen; doch scheint kein genügender Grund vorhanden zu sein, um mit Jones an ein Teleskop zu denken.

Muss man es nun auch als ausgemacht ansehen, dass die Alten mit den hauptsächlichsten Wirkungen convexer durchsichtiger Körper vertraut waren, so scheint es doch eben so fest zu stehen, dass sie von der veranlassenden Ursache, nämlich von der Brechung der Lichtstrahlen, keine klare Vorstellung hatten, wenn es ihnen auch nicht entgangen war, dass die gerade Linie verloren geht, sobald Gegenstände theilweise unter Wasser gesehen werden, wie man nach Regnault (*l'Origine ancienne de la physique nouvelle*. Amst. 1765, p. 175) aus einigen Stellen bei Aristoteles und Plutarchus ersieht. Ptolemaeus, der im zweiten Jahrhundert nach Christus lebte und die Strahlenbrechung sehr gut kannte, ja selbst gemessen hat, scheint mit den Wirkungen convexer

durchsichtiger Körper nicht bekannt gewesen zu sein. Der erste, welcher eine freilich unrichtige Erklärung davon gegeben hat, ist Vitello um das Jahr 1270, und kurz nachher Roger Baco, von denen sogleich weiter die Rede sein wird.

385 Unzweifelhaft hatten die Alten über die Reflexion der Lichtstrahlen weit vollkommenere Kenntnisse. Es ist hinreichend bekannt, dass schon in früher Zeit Brennspiegel hergestellt wurden, die unsere gegenwärtigen in der Wirkung selbst übertroffen haben müssen, wenn das wahr ist, was man von ihren Effecten erzählt. Ich brauche kaum an die bereits von vielen bezweifelte Erzählung über das Verbrennen der römischen Schiffe vor Syrakus durch Archimedes zu erinnern, worüber ausser manchen älteren Autoren Wilde (Gesch. d. Optik, 1838, Thl. 1, S. 31) sehr umständlich handelt.

Archimedes soll auch eine Abhandlung über parabolische Brennspiegel verfasst haben, die aber verloren gegangen ist. Dem Euclides werden sodann Optica zugeschrieben, worin auch von der Wirkung der Hohlspiegel gehandelt wird. Es führen aber mehrere Gründe auf die Vermuthung, dass dieses Werk nicht von Euclides stammt (*Encyclop. Britann.* Vol. 14, p. 179), während dagegen Wilde (a. a. O. Thl. 1, S. 11) annimmt, Euclides habe es zwar geschrieben, es sei aber durch Theon und andere Commentatoren umgeändert worden. Jedenfalls ist dieses Werk sehr alt. Die Gesetze der Lichtreflexion, namentlich aber dass der Einfalls- und Reflexionswinkel einander gleich sind, sind gewiss schon sehr früh den Nachfolgern des Plato bekannt gewesen, und zu diesen gehört auch Euclides.

Dass die Alten die Eigenschaft des Hohlspiegels, Gegenstände vergrössert darzustellen, wirklich benutzt haben, ist aus einer Stelle bei Plinius (Lib. 33, Cap. 9, Sect. 45) zu entnehmen: *Eadem vis in speculi usu. Polita crassitudine paulumque propulsa dilatatur in immensum magnitudo imaginum;* noch mehr aber aus der von Porta (*Magia naturalis s. de miraculis rerum naturalium.* Antw. 1560, Lib. 4, Cap. 14) bereits angezogenen schmutzigen Geschichte, die bei Seneca (*Nat. Quaest.* Lib. 1, Cap. 15 u. 16) zu lesen ist: *Sunt specula, quae faciem prospicientium obliquent, sunt quae in infinitum augeant ita, ut humanum habitum modumque excedant nostrorum corporum. — Hostius (qui tam virorum quam feminarum avidus fuit) fecit specula ejus notae cujus modo retuli, imagines majores reddentia, in quibus digitus brachii mensuram et crassitudinem excederet. Haec autem ita disponebat, ut cum virum ipse pateretur, aversus omnes admissarii sui motus in speculo videret ac deinde falsa magnitudine ipsius membri tanquam vera gaudebat.*

Zweiter Abschnitt.

Spätere Geschichte der Linsen und Erfindung der Brillen.

Wir müssen jetzt einen Zeitraum von nicht weniger als 1000 Jahren 386
überspringen, worin nur weniges zur Förderung der Wissenschaften geschehen ist; und von diesem Wenigen ist selbst nur ein kleiner Theil auf uns gekommen. Der erste, welcher nach dieser Zeit der Erscheinungen an convexen Gläsern Erwähnung thut, ist der Araber Alhazen Ben Alhazen, der etwa um das Jahr 1100 lebte. Man liest in dessen Optik (*Opticae thesaurus Alhazeni Arabis*. Basil. 1572, Lib. VII, 44 u. 45), dass, wenn ein Object dicht an die gerade Fläche eines Glaskugelsegments gehalten wird, dessen gewölbte Fläche dem Auge zugekehrt ist, dieses Object sich dann vergrössert darstellen wird. Hier finden wir also zuerst die Wirkung einer planconvexen Linse beschrieben, wenngleich es Alhazen entgangen ist, dass das Object nicht dicht an die Linsenoberfläche gehalten zu werden braucht.

Im Jahre 1270 schrieb Vitello eine Optik (*Vitellonis Thuringopoloni περι οπτικης sive de natura, ratione et projectione radiorum visus, luminum, colorum, formarum* etc. Libr. X. *editi opera G. Tanstetter et Petri Apiani*. Norimb. 1535 Fol.; mit Alhazen's Schrift zusammen in: *Opticae thesaurus, ed. Federico Risnero*. Basil. 1572, Fol.). Alles Wichtige aus der Schrift von Alhazen ist darin aufgenommen, und so auch die genannte Erscheinung. Indessen seine Beobachtungen sowohl wie seine Erklärungen sind falsch, und es scheint fast ausgemacht, dass er nicht aus eigner Erfahrung spricht, sondern nur mittheilen will, was Alhazen darüber sagt, den er offenbar falsch verstanden hat. Denn während Alhazen von der Wirkung eines Kugelsegments redet, welches grösser denn eine

Halbkugel ist, handelt **Vitello** von einem der Halbkugel an Grösse nachstehenden Kugelsegmente, und er glaubt, der Punkt, worin sich alle durch ein solches Segment gehende Strahlen vereinigen, müsse gerade der Mittelpunkt der Kugel sein.

Gleichzeitig mit Vitello lebte Roger Baco (geb. 1214, gest. 1292), ein Mann, der alle seine Zeitgenossen in der Kenntniss der Natur und ihrer Erscheinungen übertraf, und das gewöhnliche Loos solcher theilte, die sich in Kenntnissen auszeichnen, während die ganze Umgebung dumm und unwissend ist. Er wurde nach Molyneux (a. a. O. S. 257) der Zauberei beschuldigt und ins Gefängniss geworfen, worin er 10 Jahre schmachtete und nach manchen Angaben sogar starb. Aus vielen Stellen seiner Schriften ersieht man, dass er mit dem Gebrauche convexer Gläser bekannt war, und es finden sich auch ziemlich deutliche Spuren, dass er dieselben zu zusammengesetzteren optischen Instrumenten zu combiniren versuchte. Molyneux und Smith führen folgende Stellen aus seinem *Opus majus* an: *Si vero corpora non sunt plana per quae visus videt, sed sphaerica, tunc est magna diversitas, num vel concavitas corporis est versus oculum vel convexitas* etc., und weiterhin: *De visione fracta majora sunt; nam facile patet, maxima posse apparere minima et e contra, et longe distantia videbuntur propinquissime et e converso. Sic etiam faceremus Solem et Lunam et Stellas descendere secundum apparentiam inferius* etc. Die Bekanntschaft mit Vergrösserungsgläsern erhellt aber aufs deutlichste aus folgender Stelle: *Si vero homo aspiciat literas et alias res minutas per medium crystalli vel vitri vel alterius perspicui suppositi literis, et sit portio minor sphaerae, cujus convexitas sit versus oculum, et oculus sit in aëre, longe melius videbit literas et apparebunt ei majores. Nam secundum veritatem canonis quinti de sphaerico medio, infra quod est res et citra ejus centrum, et cujus convexitas est versus oculum, omnia concordant ad magnitudinem: quia angulus major est sub quo videtur, et imago est major, et locus imaginis est propinquior, quia res est inter oculum et centrum, et ideo hoc instrumentum est utile senibus et habentibus oculos debiles. Nam literam quantumcunque parvam possunt videre in sufficiente magnitudine.*

Endlich berichtet auch noch Record (*Chemin de la Science* 1551), dass Baco ein Glas geschliffen habe, durch das man so merkwürdige Sachen sah, dass die Wirkung desselben allgemein der Macht des Teufels zugeschrieben wurde.

Aus diesem Allen scheint nun soviel zu folgen:

1. dass Baco planconvexe Linsen besass, mit deren vergrössernder Kraft er durch eigene Beobachtung vertraut war;

2. dass er den Grund der Vergrösserung der Objecte darin fand, dass sie es möglich machen, die letzteren unter einem grössern Winkel zu sehen;

3. dass er einsah, wie nützlich solche Linsen denen sein müssen, die alt sind und ein schwaches Gesicht haben.

Es ist klar, dass diese letztere Wahrnehmung unmittelbar zur Er-

findung der Brillen führen musste, wenn auch bezweifelt werden kann, ob Baco Gläser mit einem weiten Focus, wie bei den eigentlichen Brillen, angefertigt hat, und dass er vielmehr ein stärkeres Vergrösserungsglas in der Hand halten oder auf die Schrift legen wollte, um namentlich dadurch Buchstaben deutlich lesen zu können *).

*) Man hat viel darüber geschrieben, welche Kenntniss Baco über die Wirkung convexer Gläser besessen habe. Manche lassen ihn sogar als den Erfinder optischer Instrumente gelten; andere dagegen glauben, dasjenige, was er über das Vergrösserungsvermögen convexer Gläser mittheilt, beruhe nicht auf eigenen Versuchen, sondern sei nur den Werken von Alhazen und Vitello entlehnt. Einige Dunkelheiten in den angezogenen Stellen scheinen diese Annahme allerdings einigermaassen zu rechtfertigen. Baco sagt, man solle das Vergrösserungsglas auf die Buchstaben legen; auch erklärt der Kanon, worauf er sich beruft, die Erscheinung eigentlich nicht, denn er spricht dort nur von Objecten, die sich innerhalb eines dichteren Mediums, namentlich in Wasser befinden. Man liest ferner in dem berühmten Briefe Baco's: *De mirabili potestate artis et naturae, ubi de philosophorum lapide* etc., der zuerst bei Claudius Celestinus: *De his quae mundo mirabiliter eveniunt. Lutetiae Parisiorum* 1542. 4. abgedruckt ist, Folgendes: *Possunt enim sic figurari perspicua, ut longissime posita appareant propinquissima et e contrario, ita quod incredibili distantia legeremus literas minutissimas et videremus res quantumcunque parvas et stellas faceremus apparere quo vellemus . . . . Possunt et sic figurari corpora, ut maxima appareant minima et e contrario, et alta appareant ima et infimae contrario, et occulta appareant manifesta.* Wenn aber einige Zeilen weiter zu lesen steht: *Possunt etiam sic figurari perspicua, ut omnis homo ingrediens domum videret veraciter auream et argenteam et lapides preciosas*, so wird jener durch den ersten Satz hervorgerufene Eindruck gar sehr geschwächt. Liest man dann ferner daselbst: *Instrumenta navigandi possunt fieri sine hominibus navigantibus, ut naves maximae et marinae ferantur unico homine regente, majori velocitate quam si essent plenae hominibus navigantibus: unde currus possunt fieri, qui sine animali moveantur cum impetu inaestimabili . . . . et infinita talia possunt fieri, ut pontes ultra flumina sine columna et aliquo obstaculo*, so könnte man an die Dampfschiffe, Locomotiven und Hängebrücken der Gegenwart denken, wenn nicht ein eingeschobener Satz (*possunt fieri instrumenta volandi, ut homo sedens in medio instrumenti revolvens aliquod ingenium, per quod alae artificialiter compositae, aërem verberent ad modum avis volantis*) bewiese, dass Baco, weit davon entfernt, alles, was er sich in seinen philosophischen Träumen als möglich dachte, durchs Experiment nachzuweisen, sich vielmehr dazu verleiten liess, seine theoretischen Vorspiegelungen für wirkliche Wahrheiten zu halten.

Mahnen uns nun aber auch diese Beispiele, Baco's Kenntnisse über Dinge, von denen er in der That nicht vielmehr als eine Ahnung hatte, mit Vorsicht zu beurtheilen, so müssen wir doch andererseits eingestehen, dass seine im Texte enthaltenen Angaben über das Vergrösserungsvermögen der Linsen die Erscheinung zu scharf zeichnen, als dass man annehmen dürfte, er habe sie nicht selbst wahrgenommen, sondern nur anderen nachgeschrieben, wenngleich er eine unrichtige Erklärung davon giebt. Ferner wurden um Baco's Zeit die Brillen wirklich bekannt, und man darf doch wohl nicht annehmen, dass man auf einmal, fast ohne Vorbereitung, zur Darstellung von Brillengläsern gekommen ist; der gewöhnliche Gang der menschlichen Entdeckungen lässt vielmehr vermuthen, dass man, nachdem die Wirkungen convexer durchsichtiger Körper wahrgenommen worden waren, allmälig Gläser zu schleifen begann mit einem immer weiteren Focus, bis man endlich auf Gläser kam, welche dem bei Brillengläsern vorschwebenden Zwecke entsprachen.

387 Wie dem auch sei, es steht soviel fest, dass kurz nach Baco's Tod wenn nicht vielleicht gar schon vorher, die Brillen in Europa in Gebrauch gekommen sind *).

Molyneux (*Dioptrica nova*, p. 254) führt eine Stelle aus Menage (*Origini della lingua Italiana.* Ginevra 1685) an, die dieser der Handschrift eines griechischen Gedichts auf der königlichen Bibliothek in Paris entnommen hat. Der Verfasser des Gedichts, welcher etwa ums Jahr 1150 lebte, spottet nämlich über die damaligen Aerzte, „dass sie die Excreta ihrer Kranken mit einem Glase beguckten". Wäre damit gesagt, dass die damaligen Aerzte die Excreta der Kranken wirklich mittelst eines convexen Glases untersuchten, dann würde freilich die Benutzung des Vergrösserungsglases zu diagnostischen Zwecken von weit älterem Datum sein als man meistens glaubt. Da jedoch über die Form dieses Glases nichts gesagt wird, so wenig als über den Zweck seines Gebrauchs, so dürfen wir wohl annehmen, dass die Aerzte dabei mehr den Zweck hatten, ihre Nase zu schützen, nicht aber ihre Augen zu verstärken.

Zuverlässigere Nachrichten über die Zeit der Brillenerfindung haben wir durch Redi's Nachforschungen erhalten. Dieselben sind in zwei

---

*) Bekanntlich sind mancherlei Erfindungen, wie die des Schiesspulvers, der Compassnadel u. s. w. schon früher von den Chinesen gemacht worden, und das scheint auch mit den Brillen der Fall zu sein; wenigstens scheint die Erfindung unabhängig von Europa bei den Chinesen vorzukommen. Ihre Brillen sind ganz verschieden von den unseren. Es sind zwei grosse, theilweise convex und theilweise concav geschliffene runde Scheiben aus einem Mineral, das sie *Scha-chi*, d. h. Theestein nennen, weil seine Farbe einem dunkeln Theeaufgusse gleicht. Diese durchsichtigen Scheiben befestigen sie vor den Augen dadurch, dass sie seidene Schnuren hinter die Ohren führen. S. Carl Bursy, das künstliche Licht und die Brillen. Mitau u. Lpz., 1846, S. 29.

Nach manchen Angaben sollte der Gebrauch der Brillen früher als irgend anderswo bei den südamerikanischen Völkern bekannt gewesen sein, deren älteste Cultur wenigstens noch in ihren Bau- und Bildwerken zu uns spricht. In A. Voit's Denkmälern der Kunst zur Uebersicht ihres Entwickelungsganges. Stuttg. 1845, Heft 1, Taf. 2 und 3, sind mehrfache derartige Ueberbleibsel aus Mexico, Peru u. s. w. dargestellt, und darunter vielleicht auch ein Kopf mit einer Brille. (W. Menzel's Literaturblatt, 1845, Nr. 104, S. 116). Die blosse Uebereinstimmung der Form und das Anbringen vor den Augen bürgen aber noch keineswegs mit Sicherheit dafür, dass diese Deutung eine richtige ist.

Es fehlt auch nicht an märchenhaften Angaben über die Erfindung der Brillen. Der heilige Hieronymus, der im vierten Jahrhundert lebte, soll bereits Brillen gekannt haben, und noch im Jahre 1660 hatte in Venedig die Ladenthür eines Brillenverkäufers die Aufschrift: *San Girolamo inventore degl' occhiali.* Der Irrthum ist vielleicht durch Anachronismen hervorgerufen worden, deren sich Maler schuldig gemacht haben. So hat Domenico del Ghirlandajo (geb. 1551, gest. 1595) den heiligen Hieronymus wirklich mit einer Brille auf der Nase abgemalt. Auch Ludovico Candi da Cigoli (geb. 1559, gest. 1613) hat sich diesen Anachronismus in dem Bilde erlaubt, welches den alten Simeon mit dem Christuskinde in der Kirche San Francesco di Prato darstellt. (Bursy a. a. O., S. 26).

Briefen an Carlo Dati und an Paolo Falconieri enthalten, die sich im vierten Theile seiner Werke befinden, im Auszuge aber bei Spon, *Recherches curieuses d'antiquité.* Lyon, p. 163, sowie in den *Philos. Transact.* f. 1683. p. 392 zu lesen sind. Auch bei Girolamo Tiraboschi, *Storia della Letteratura Italiana.* Modena, 1793. p. 163 findet man die bezüglichen Stellen. Redi verlegt die Erfindung zwischen 1280 und 1311, wobei er sich auf folgende Zeugnisse stützt. In einer Chronik, die handschriftlich bei den Prädikanten zu St. Catharina in Pisa aufbewahrt wird und die auch der Reihe nach von mehreren gleichzeitig lebenden Autoren abgeschrieben wurde, liest man nämlich: *frater Alexander de Spina, vir modestus et bonus, quaecunque vidit aut audivit facta scivit et facere. Ocularia ab aliquo primo facta et communicare nolente ipse fecit et communicavit corde hilari et volente.* Dieser Alexander de Spina nun war in Pisa geboren und starb im Jahre 1313. Er verstand die Kunst des Brillenmachens am Ende des 13. oder zu Anfang des 14. Jahrhunderts, und wenn ihm auch nicht die Ehre der Erfindung zufällt, so hat er doch das grosse Verdienst, diese Erfindung bekannt gemacht zu haben.

Dass die Erfindung der Brillen aber schon in die letzten Jahre des 13. Jahrhunderts fällt, kann man aus einer Stelle in einer Handschrift vom Jahre 1299 schliessen, die den Titel führt: *Trattato del governo da Sandra di Pipozzo di Sandro Fiorentino*, worin der Schreiber sagt, er sei so vom Alter gebeugt, dass er weder lesen noch schreiben könne ohne die Gläser, die man Brillen nennt, und die neuerdings erfunden seien zur Bequemlichkeit gebrechlicher Alten, denen das Gesicht versagt *). Damit stimmt auch überein, was Giordano da Rivalta, der im Jahre 1311 im Kloster zu St. Catharina in Pisa starb, also ein Klosterbruder des Alexander de Spina, in einer Predigt, gehalten am 23. Februar 1305 zu Florenz, seinen Zuhörern sagte, dass es nämlich noch nicht 20 Jahre her sei, seitdem die Kunst der Brillenverfertigung erfunden sei, eine der nützlichsten Künste auf der Welt, und dass er den Erfinder selbst gesehen und gekannt habe **). Dass die Brillen in den ersten Jahren des 14. Jahrhunderts wirklich schon ziemlich bekannt waren, ersieht man daraus, dass der berühmte Arzt Bernard Gordon in Montpellier im Jahre 1305 in seinem *Lilium medicinae* eine Augensalbe mit dem Beisatze anpreist: *et est tantae virtutis, quod decrepitum faceret legere literas minutas absque Ocularibus.*

Nach A. von Humboldt (*Kosmos* Bd. 2, S. 508) sollen die Brillen in

---

*) „*Mi trovo così gravoso di anni, che non abbia vallenza di leggiere e scrivere senza vetri apellati okiali, truovati novellamente per comodita delli poveri veki, quando affiebolano del vedere.*"

**) *Non è ancora vent'anni, che si trovò l'arte die fare gli occhiali, che fanno veder bene, che è una delle migliori arti e delle piu necessarie, che il mondo abbia*" . . . . „*Jo vedi colui, che prima la trovò e fece, e favellagli*".

Haarlem schon zu Anfang des 14. Jahrhunderts bekannt gewesen sein; nur ist die Quelle nicht angegeben, woraus diese für die Geschichte der optischen Instrumente in den Niederlanden so wichtige Angabe entlehnt worden ist.

Der Name des wahren Erfinders blieb aber verborgen, bis Leopoldo del Migliore, ein florentinischer Alterthumskundiger, in der Kirche Santa Maria Maggiore zu Florenz folgende alte Grabschrift entdeckte: *Qui giace Salvino d'Armato degli Armati di Fir. Inventore degli Occhiali. Dio gli perdoni la peccata.* Anno D. MCCCXVII. (s. Tiraboschi l. c. p. 198. Musschenbroek *Introd. ad. philos. nat.* II, p. 786, u. Volkmann, Nachrichten aus Italien. Th. 1, S. 512). Diese Grabschrift, verbunden mit den oben angeführten Zeugnissen Redi's, macht es also höchst wahrscheinlich, dass Armati der Mann gewesen ist, den Giordano da Rivalta als den ersten Verfertiger der Brillen gekannt haben will und dem Alexander de Spina die Kunst abgelernt hat.

388 Fassen wir nun alles Bisherige zusammen, so ergiebt sich, dass schon in sehr alten Zeiten das Vergrösserungsvermögen convexer durchsichtiger Körper bekannt war, und ebenso die Kunst, Glas und selbst Bergkrystall zu schleifen. Späterhin finden wir diese Kunst noch erhalten und zwar besonders bei den Mönchen, fast den einzigen, in deren Händen damals Kunst und Wissenschaft lagen. Denn mehr als wahrscheinlich ist es doch wohl, dass ausser Roger Baco auch noch andere Mönche das Verfahren der Alten beim Glasschleifen verstanden; dies erhellt schon aus dem Beispiele des Alexander de Spina, der offenbar die Kunst des Glasschleifens verstand, da er ohne Unterricht die von einem anderen verfertigten Brillen nachzumachen verstand. Die Erfindung der Brillen beruht also nur darauf, dass man anfing, Linsen mit grösserer Brennweite als früherhin zu schleifen, und dies hat wahrscheinlich um die Jahre 1285 bis 1290 stattgefunden.

In der letzten Hälfte des 14. Jahrhunderts mussten die Brillen wohl schon sehr verbreitet sein, denn Molyneux (l. c. p. 257) führt von Guido de Chauliac an, derselbe habe 1363 in seiner *Chirurgia magna* ein paar Augenwasser angegeben und dann hinzugefügt: wenn diese nicht helfen, dann müsse man zur Brille greifen.

Allmälig wurde auch das Brillenschleifen ein Handwerk, welches aller Orten von einiger Bedeutung geübt wurde. So werden am Ende des 16. Jahrhunderts in Middelburg zwei Brillenschleifer mit Namen aufgeführt, nämlich Hans Janssen mit seinem Sohne Zacharias und Lippershey, und zur Zeit Leeuwenhoek's (*Sendbrieven*, Delft 1718, p. 169) befanden sich deren drei zu Leyden. Diese allgemeine Ausbreitung der Kunst, Glas zu Linsen zu schleifen, hat aber zur glücklichen Erfindung der zwei mächtigsten Hülfsmittel der Beobachtung geführt, zum Teleskope und zum Mikroskope.

Dritter Abschnitt.

Erfindung des zusammengesetzten Mikroskops und erste Benutzung der einfachen Linse zu wissenschaftlichen Untersuchungen.

Wir nähern uns jetzt dem Zeitpunkte, wo die eigentliche Geschichte 389
des Mikroskops ihren Anfang nimmt, als Werkzeug nämlich, welches den Schleier abheben sollte von den Naturerscheinungen, die dem blossen Auge unlösliche Räthsel sind. Wir haben gesehen, dass schon seit Jahrhunderten die vergrössernde Kraft der convexen Gläser und Spiegel bekannt war, und dass man wahrscheinlich bei feinen Kunstarbeiten davon Gebrauch gemacht hatte, und doch scheint Niemand auf den Gedanken gekommen zu sein, das Auge damit zu waffnen, um dadurch tiefer in die Geheimnisse der Natur einzudringen. Die einfache Linse war seit langer Zeit bekannt. Das war aber noch kein Mikroskop; ein solches wurde sie erst von dem Augenblicke an, wo sie zur Untersuchung von Naturkörpern verwandt wurde, die vermöge ihrer Kleinheit sich dem Auge entzogen. Wann dies zuerst geschehen, ist aber schwer mit einiger Sicherheit anzugeben. Philippus Bonannus (*Observationes circa viventia quae in rebus non viventibus reperiuntur, cum Micrographia curiosa.* Rom. 1691, p. 7) hat zwar ein Verzeichniss derer geliefert, die bis zu seiner Zeit ihre mit dem Mikroskope ausgeführten Untersuchungen beschrieben haben sollten, und als ersten nennt er Georg Hufnagel, der im Jahre 1592 in Frankfurt ein Werk über Insecten mit 50 Kupfertafeln herausgab. Ich kenne dieses Werk nicht selbst; sind aber wirklich darin mikroskopische Beobachtungen in Worten mitgetheilt, so sind diese mit einfachen Linsen ausgeführt worden, denn in diesem Jahre war, wie gleich zu erwähnen, das zusammengesetzte Mikroskop kaum noch bekannt.

Huygens (*Opuscula posthuma.* Amstelod. 1728, I. *Dioptrica*, p. 170) meint, einfache Linsen statt des Mikroskops seien erst nach Erfindung der Teleskope in Gebrauch gekommen. Ich halte es für sehr wahrscheinlich, dass man erst nach der Erfindung des zusammengesetzten Mikroskops sich mehr und mehr auf das Schleifen von immer kleineren Linsen gelegt hat, die man dann auch für sich als Mikroskope gebrauchte, namentlich nachdem Leeuwenhoek's treffliche Beobachtungen gelehrt hatten, was man damit erzielen kann.

Bevor ich jedoch über die Schicksale des einfachen Mikroskops weiter mich auslasse, muss ich erst einige Augenblicke bei der Geschichte der Erfindung des zusammengesetzten Mikroskops verweilen.

390 Zwei Nationen streiten noch bis diesen Tag um die Ehre der Erfindung des zusammengesetzen Mikroskops, die Italiener nämlich und die Holländer, und bei beiden hat man diese Ehre mehr denn Einem zuweisen wollen. Bei den Italienern sind es Fontana und Galilei*), bei den Holländern Drebbel von Alkmaar, und zwei Middelburger, nämlich Hans und Zacharias Janssen, Vater und Sohn.

Fontana gab 1646 in Neapel seine *Novae celestium terrestriumque observationes* heraus, worin er angiebt, er habe das Mikroskop im Jahre 1618 erfunden; er beruft sich dabei auf das Zeugniss eines Jesuiten, der dasselbe sieben Jahre später bei ihm selbst gesehen habe. Dieses Zeugniss lautet: *Ego Hieronymus Sirsalis soc. Jesu S. T. P. in collegio Neapolitano testatum volo me circiter annum* 1625 *Francisci Fontanae vidisse Microscopium ab ipso mira arte compositum* etc.

Von Galilei berichtet dessen Biograph Viviani (*Divinatio* II, p. 123 und Galilei, *Opere* I, p. XX), die Erfindung der Teleskope habe ihn auch zu jener der Mikroskope geführt, und im Jahre 1612 habe er ein solches Instrument an den König Casimir von Polen geschickt. Libri (*Hist. des Sc. math. en Italie* IV, p. 222) dagegen hat späterhin dargethan, dass Galilei sein Mikroskop nicht an Casimir, sondern an König Sigismund von Polen geschickt hat.

Ueber Drebbel berichtet Huygens (*Dioptrica*, p. 170), derselbe

---

*) Man hat auch Porta genannt (Chevalier, die Mikroskope u. s. w., übers. v. Kerstein. 1843, S. 4); ich meine aber, dass dieser in keiner Weise hier in Betracht kommen kann. Weder in der Ausgabe seiner *Magia naturalis*, welche 1560 in 4 Büchern erschien, noch auch in der späteren von 1607 in 20 Büchern kommt etwas vor, was zu dieser Annahme führen könnte. Er spricht darin kaum über das Vergrösserungsvermögen der Linsen. Porta hat zwar auch noch ein Buch *De refractione optica* geschrieben, das ich nicht selbst gelesen habe; aber weder Wilde in seiner Geschichte der Optik, noch Libri in seiner *Histoire des sciences mathémathiques en Italie*, der sehr ausführlich über Porta handelt, melden etwas, was auf die Erfindung des Mikroskops durch Porta hinwies. — Eine andere Frage ist die, ob Porta nicht das Teleskop gekannt habe. Einige bemerkenswerthe Stellen darüber kommen im zehnten Hauptstücke seiner *Magia naturalis* (1607) vor, die man in der letzten Zeit wohl zu wenig berücksichtigt hat.

habe sich damals in London aufgehalten und im Jahre 1621 hätten viele bei ihm Mikroskope gesehen, als deren erster Erfinder er dort allgemein gelte *). Van Cappelle (*Bydragen tot de geschiedenis der Wetenschappen en letteren in Nederland* 1821, p. 92) theilt ferner einen Brief des Peiresc in Paris vom 21. Dec. 1622 an G. Cambden in London mit, worin Folgendes vorkommt: *On nous raconte ici de grandes merveilles des inventions de Sieur Cornelius Drubelsius Alcmariensis, qui est au service du Roy de la grande Bretagne, résident en une maison près de Londres. Je vous supplie de m'écrire un mot de la verité de chacune de ces inventions. Nous avons bien vu ici de ces petites lunettes, qui font voir des cirons et des mistes gros comme des mouches, mais je voudrais bien être assuré de ce qu'il y a de vrai touchant ces autres inventions.* Daraus ersieht man, dass 1622 in Paris Mikroskope von Drebbel zu sehen waren. Es folgt aber nicht daraus, dass es zusammengesetzte Mikroskope waren, da man eben so gut annehmen kann, dass es kleine Mikroskope mit nur Einer Linse waren, von der Art, die man später *Vitra pulicaria* nannte.

Ueber Drebbel's Antheil an der Erfindung des Mikroskops und besonders über das Bekanntwerden dieses Instruments in Italien ist aber durch die interessante Entdeckung des Abbé Rezzi, des Bibliothekars im Palast Corsini, mehr Licht verbreitet worden. Unter vielen anderen Briefen des eben genannten Peiresc in der Barberini'schen Bibliothek hat Rezzi auch 10 gefunden, die auf das Mikroskop Bezug haben, und die Peiresc in den Jahren 1622, 1623 und 1624 aus Paris und aus Aix an Hieronymus Aleandro in Rom geschrieben hat. Sie sind in der kleinen Schrift von Rezzi (*Sulla invenzione del microscopio* etc., Rom 1852, 4, p. 36 bis 40) mitgetheilt. Aus dem ersten dieser Briefe (Paris, 7. Juni 1622) ersieht man, dass ein gewisser Jacob Kuffler von Köln, ein Blutsverwandter des Cornelius Drebbel, dem Peiresc Augengläser (*Occhiali*) neuer und eigener Erfindung zeigte, durch die man einen Floh so gross wie eine Heuschrecke und die Käsemilben so gross wie Fliegen sah. Mit einem solchen Augenglase begab sich Kuffler nach Rom, den Brief des Peiresc als Empfehlungsbrief an Aleandro mit sich nehmend, worin versucht wurde, ihn bei Hofe einzuführen, namentlich beim Cardinal Santa Susanna und beim Cardinal Barberini, der ein Jahr später als Urban VIII. zum Papste gewählt wurde. Bald

*) Wie sonderbar die Sachen manchmal durch eine unvollständige und unaufmerksame Compilation verdreht werden, dafür kann ich ein paar Beispiele anführen. Giovanni Santini (*Teorica degli stromenti ottici, Padova* 1828, p. 158) hat offenbar Huygens gelesen und schreibt: *Sembra doversi stabilire una si utile invenzione fra il* 1628 *ed il* 1621, *e doversene attribuire l'onore all' Inglese Drebbel;* er macht also Drebbel zu einem Engländer. Noch besser macht es aber der Referent über Brewster's *Martyrs of Science* in der *Bibliothèque universelle de Genève.* 1846. *Janv.*, p. 319, wenn er schreibt: *Il (Galilée) affirme qu'il n'a vu aucun des Telescopes de Dutch*, als wäre Dutch (Holländer) ein Eigenname. — Brewster selbst im *Treatise on the Microscope* nennt Janssen wiederholt Zansz.

nach seiner Ankunft scheint aber Kuffler gestorben zu sein. Wenigstens gedenkt Peiresc im folgenden Briefe vom 8. December 1622 des Todes von Kuffler, und drückt zugleich sein Bedauern aus, dass Kuffler nicht im Stande gewesen sei, die wunderbaren Wirkungen seines Augenglases in Rom zu zeigen. Fast ein Jahr später (17. Sept. 1623) fand Peiresc erst Gelegenheit, den Verlust zu ersetzen, indem er die beiden eigenen, ebenfalls von Drebbel gefertigten und von Kuffler zurückgelassenen Augengläser zuschickte. Aus einem Briefe von Aix (3. März 1624) ersieht man aber, dass man in Rom mit dem Instrumente nicht zurecht kam. Peiresc giebt darin verschiedene Anweisungen über den Gebrauch, die deshalb von Wichtigkeit sind, weil man mit Bestimmtheit daraus ersieht, dass zu diesen Mikroskopen zwei convexe Gläser gehörten; denn er erwähnt ausdrücklich der Bildumkehrung. Aus dieser Anweisung folgt ferner, dass der Abstand beider Gläser von einander und folglich auch die Vergrösserung des Instrumentes innerhalb gewisser Grenzen dem Wechsel unterlag. Dass es ferner nur für undurchsichtige Objecte passte, ist aus dem Briefe vom 24. Mai 1624 zu entnehmen, worin Peiresc die Beleuchtung durch Sonnenlicht anräth. Aus dem letzten Briefe (1. Juli 1624) ersieht man endlich, dass man in Rom erst dann dazu kam, die Objecte durch dieses Vergrösserungsglas ziemlich hell zu sehen, als Galilei dort angekommen war.

Das Zeugniss für Hans und Zacharias Janssen als Erfinder des Mikroskops findet sich in der Schrift des zu Castres geborenen und 1689 verstorbenen Leibarztes Ludwig's XIV., Pierre Borel, oder Petrus Borellus: *De vero telescopii inventore, cum brevi omnium conspiciliorum historia. Accessit etiam Centuria observationum microscopicarum. Hag. Comitum* 1655. Darin findet sich ein Brief von Willem Boreel (Baron von Vroendyke, Herr von Duinbeke, Pensionarius von Amsterdam) vor, geb. 1591 in Middelburg, 1619 Advocat der ostindischen Compagnie und als solcher nach England geschickt, dann noch anderwärts Gesandter, und 1627 als Gesandter nach Paris gehend, wo er mit dem genannten Leibarzte Pierre Borel bekannt wurde, dem er jedoch nicht verwandt war. Pierre Borel giebt aber an, dass er auf den Wunsch des Willem Boreel die Feder ergriffen habe, um Middelburgs Recht zu vertheidigen. Der in der genannten Schrift enthaltene Brief des Willem Boreel lautet: *Middelburgum Selandorum metropolis mihi patria est. Juxta aedes ubi natus sum in foro olitorio templum novum est, cujus parentibus (parietibus?) nectuntur aediculae quaedam satis humiles. Harum unam prope portam monetariam occidentalem inhabitabat anno* 1591 (*cum natus sum*) *quidam conspiciliorum confector nomine Hans, uxor ejus Maria, qui filium habuit praeter filias duas, Zachariae nomine quem novi familiarissime, quia puero mihi vicino vicinus ab ineunte tenerrima aetate colludens. Semper adfuit, egoque puer in officina ipsi saepiuscule adfui. Hic Hans id est Johannes cum filio suo Zacharia, ut saepe audivi, Microscopia primi invenere, quae principi Mauritio gubernatori et summo duci exercitus Belgicae foederatae obtulerunt, et*

honorario aliquo donati sunt. Simile microscopium postea ab ipsis oblatum fuit Alberto archiduci Austriaco, Belgicae regiae supremo gubernatore. Cum in Anglia anno 1619 Legatus essem, Cornelius Drebelius Alckmarianus Hollandus, vir multorum secretorum naturae conscius ibique regi Jacobo in mathematicis inserviens, et mihi familiaris, ostendit illud ipsum instrumentum mihi, quod archidux ipsi Drebelio dono dederat, videlicet microscopium Zachariae istius; nec erat (ut nunc talia monstrantur) curto tubo, sed fere ad sesquipedem longo, cui tubus ipse erat ex aere inaurato, latitudinis duorum digitorum in diametro insidens tribus delphinis ex aere, itidem subnixis; in basis disco ex ligno ebeno, qui discus continebat impositas quisquilias aut minuta quaeque, quas desuper inspectabamus forma ampliata ad miraculum fere maxima. Ast longe post, nempe anno 1610, inquirendo paulatim etiam ab illis inventa sunt Middelburgi Telescopia longa siderea etc.

Man ersieht aus dieser Beschreibung, dass es sich um ein zusammengesetztes Mikroskop handelt, welches nur wenig von jenen abweicht, wie sie noch eine geraume Zeit späterhin verfertigt wurden. Auf die wahrscheinliche optische Einrichtung desselben werde ich alsbald noch näher zurückkommen.

Das sind die wesentlichen Momente, welche man für jeden der Genannten als Erfinder des Mikroskops geltend machen kann und die jetzt einzeln abzuwägen sind. 391

Fontana's Ansprüche können kaum in Betracht kommen. Höchstens darf man aus dem angeführten Zeugniss schliessen, dass derselbe 1625 ein Mikroskop besessen hat. Wir haben oben gesehen, dass ein von Drebbel verfertigtes Mikroskop ein Jahr vorher nach Rom gekommen war.

Was Galilei betrifft, so ist man lange in Zweifel darüber gewesen, ob die von ihm verfertigten Mikroskope seine eigene Erfindung waren, oder ob die Erfindung eines Anderen ihm bekannt wurde und er dann ein solches Instrument nachbildete. Das Letztere ist der Fall in Betreff der Telescope, deren Erfindung bekanntlich auch Galilei zugeschrieben worden ist; das ist unwiderleglich dargethan durch die Untersuchungen van Swinden's (*Nieuwe Verhandelingen der eerste Klasse van het koninglyk Nederlandsch Instituut* (1831) III, p. 103; im Auszuge in Schuhmacher's Jahrb. f. 1843, S. 57). Man kann sich auch denken, dass Galilei, nachdem er mit dem im Jahr 1608 in Holland erfundenen Teleskope bekannt war, bald nachher fast von selbst, ohne fremde Beihülfe, ein Instrument hergestellt hat, welches zur Beobachtung naher Gegenstände geeignet war. Das Teleskop lässt sich ja leicht in eine Art Mikroskop verwandeln: die beiden convexen Gläser brauchen nur weiter von einander entfernt zu werden durch Ausziehen des Rohres, und man kann nahe Gegenstände vergrössert damit wahrnehmen. Das scheint auch bereits 1610 Giantonio Magini gethan zu haben; denn in einem Briefe desselben vom 10. Sept. 1610 an Galilei kommt folgende Stelle vor:

Allungando il cannone alla doppia distanza di quella che porta, e levando via il traguardo o lente concava, si vedono tutte le cose alla rovescia e molto distinte, se ben picciole. (S. *Opere complete di Galileo.* T. VIII, p. 106.) Sicher ist es wenigstens, dass Galilei selbst in dem zuerst im Jahr 1623 in Rom gedruckten *Saggiatore* (*Opere complete.* T. IV, p. 248) eines Teleskops erwähnt, welches dazu diente, in der Nähe befindliche Gegenstände weit besser als mit blossem Auge zu sehen. Ein solches Instrument kann man Mikroskop nennen, wenn man will; auch hat man dergleichen noch in späterer Zeit verfertigt und mit dem Namen polydynamischer Mikroskope belegt, da man das Instrument durch Schieben des Rohres den verschiedenen Entfernungen anpassen kann. Ein solches Teleskop-Mikroskop ist aber doch verschieden vom eigentlichen zusammengesetzten Mikroskope, welches aus einem Ocular und einem Objectiv von kurzer Brennweite besteht, bei deren Verbindung das ganze Instrument nur eine mässige Länge zu haben braucht, und wo ausserdem die Vergrösserung grösstentheils durch das Objectiv und nur zu einem kleinen Theile durchs Ocular erreicht wird.

Vielleicht ist auch jenes Mikroskop, welches Galilei nach dem Zeugniss seines Schülers und bewundernden Freundes Viviani im Jahr 1612 an den König von Polen schickte, ein solches Teleskop-Mikroskop gewesen; aber immer war es dann auch von späterem Datum, als jene Instrumente, welche nach dem Zeugniss Boreel's durch Hans und Zacharias Janssen hergestellt wurden *).

---

*) Libri (*Hist. des Sc. mathématiques en Italie*) nennt die in Boreel's Briefe über Hans und Zacharias Janssen enthaltenen Mittheilungen „*des témoignages beaucoup trop postérieurs*", und glaubt sie damit vollständig widerlegt zu haben, er vergisst aber, dass es sich hier um die Mittheilung eines Augenzeugen handelt, und zwar eines Mannes, der als Staatsmann und Gelehrter eine hohe Stellung einnahm und vollkommen glaubwürdig war. Dieser Tadel passt aber auch eher auf Viviani als auf Boreel; denn Ersterer wurde erst 1622 geboren, zehn Jahre später, als Galilei seine Erfindung gemacht haben soll, während Boreel 1591 geboren ist und aus persönlicher Anschauung Mittheilungen machen konnte. Auch spricht es nicht für die Zuverlässigkeit der Quellen, aus denen Viviani geschöpft hat, dass er sich in der Person irrt, der Galilei sein erstes Mikroskop geschickt haben soll (s. S. 586). Endlich schrieb Viviani seine Lebensbeschreibung Galilei's 1654, und 1717 wurde sie gedruckt; die Elogia aber, worin des an den polnischen König gesandten Mikroskops Erwähnung geschieht, wurden erst 1693 geschrieben. Die Schrift von Pierre Borel dagegen erschien schon 1655.

Tiraboschi (l. c. VIII, p. 176) und nach ihm Libri zählen zu den Beweisen, dass das Mikroskop schon 1612 in Italien bekannt gewesen sei, auch eine Stelle in der im genannten Jahre in Venedig erschienenen Schrift: *Ragguagli di Parnaso di Trajano Boccalini*, welche so lautet: *Mirabilissimi sono quegli occhiali fabbricati con maestria tale, che alcuni fanno parere le pulci elefanti ed i pigmei giganti* etc. Aus diesen Worten entnimmt man noch nicht, ob hier eine einfache Linse oder ein Mikroskop gemeint ist. Alle Zweifel darüber schwinden aber durch das, was man weiterhin in dieser Schrift liest und was Rezzi

Alle Zweifel über die Zeit, in welcher Galilei das eigentliche zusammengesetzte Mikroskop hat kennen gelernt, sind nun aber völlig beseitigt, nachdem die oben besprochenen Briefe von Peiresc durch Rezzi bekannt gemacht worden sind, der mit anzuerkennender Unparteilichkeit gewiss mit vollem Rechte daraus folgert: „dass das zusammengesetzte Mikroskop im April 1624 in Rom noch so neu und unbekannt war, dass Niemand damit umzugehen wusste, in Rom, wo sich Galilei 1611 gegen zwei Monate aufgehalten und seine neuen Entdeckungen bekannt gemacht hatte, wo nicht wenige gelehrte Mitglieder der *Academia dei Lyncei* und andere Verehrer der Wissenschaften lebten, die dort ein neues Leben hervorriefen, wohin alles Neue in Kunst und Wissenschaft den Weg fand, wie die Briefe und Schriften dieser Zeit, gedruckte und ungedruckte, darthun."

Hieraus und aus einer Reihe anderer Gründe, deren weitere Ausführung der Leser in Rezzi's Schrift selbst suchen muss, wird nun von Rezzi der Schluss gezogen, das zusammengesetzte Mikroskop könne nicht in Italien, also weder von Galilei noch von Fontana, erfunden, sondern es müsse von andersher dorthin gebracht worden sein *).

(l. c. p. 35) mittheilt: *Questi (occhiali) avidamente sono comperati da alcuni soggetti grandi, i quali ponendoli poi al naso dei loro fortunati cortigiani, tanto alterano la vista di que' miseri, che rimunerazione di cinque cento scudi di rendita stimano il vil favoruccio, che dal padrone venga loro posta la mano nelle spalla, ò l'esser da lui rimirati con un ghigno, ancor che artificioso e fatto per forza.* Hier ist also von keinem zusammengesetzten Mikroskope die Rede, sondern nur von einem Instrumente, welches auf der Nase getragen wurde, also von einer Art Brille.

Vielleicht war das auch ein solches Instrument, oder auch ein einfaches Mikroskop oder eine Lupe, dessen Johannes Vodderbornius, ein Schotte und früherer Schüler Galilei's in Padua, in einer vom 16. Oct. 1610 datirten Dedication an den Englischen Gesandten Wotton in Venedig gedenkt. Diese Dedication, auf welche Rezzi aufmerksam gemacht hat, steht nämlich in: *Quatuor problematum quae Martinus Horky contra Nuntium Sydereum de quatuor planetis novis proposuit confutatio. Patav.* 1610. Vodderbornius sagt hier nämlich von seinem Lehrer: *Audiveram paucis ante diebus authorem ipsum excellentissimo D. Cremonino Purpurato philosopho varia narrantem scitu dignissima, et inter caetera quomodo ille minimorum animantium organa, motus et sensus eo perpicillo ad unguem distinguat.*

*) Dass das Mikroskop 1624 in Italien noch ganz unbekannt war, erhellt auch daraus, dass Galilei in diesem Jahre ein Mikroskop an Bartolomeo Imperiali in Genua schickte, der sich in seinem Danksagungsbriefe rühmte, der Einzige in Genua zu sein, der einen solchen Schatz besässe. Galilei sandte ferner etwa um die nämliche Zeit auch ein Mikroskop an Cesare Marsigli und bemerkte dabei, „dass ein solches Instrument nur von ihm zu bekommen sei und von dem Goldschmiede, der das Rohr dazu gemacht hätte." Ferner schickte auch Galilei am 23. Sept. 1624 ein Mikroskop an Federico Cesi, und in dem Begleitbrief (abgedruckt im *Giornale de, Letterati* von 1749 und wiederholt bei Rezzi a. a. O. S. 47) erwähnt er zum ersten Male, dass es ihm Mühe gekostet habe, die rechte Methode des Linsenschleifens herauszufinden, was doch wohl nicht geschrieben worden wäre, wenn sich Galilei schon seit vielen Jahren mit der Verfertigung solcher Mikroskope beschäftigt gehabt hätte. Es

Hierin stimme ich ihm ganz bei, ich kann mich aber nicht mit seiner Ansicht befreunden, dass die Ehre dieser Erfindung Drebbel zukomme und nicht den beiden Janssen.

Dass Drebbel 1619 und in den folgenden Jahren selbst zusammengesetzte Mikroskope anfertigte, muss nach den Zeugnissen von Boreel und von Peiresc als ausgemacht angenommen werden; doch beweist dies noch nicht, dass Drebbel wirklich der Erfinder war. So etwas folgt weder aus den Worten von Huygens, die nur der Wiederklang einer in London verbreiteten Meinung sind, noch aus den Worten von Peiresc. Letzterer erwähnt in seinen Briefen nur der Augengläser (*Occhiali*) Drebbel's, als von diesem selbst verfertigte Instrumente, ohne ihn indessen ausdrücklich als Erfinder zu bezeichnen. Hätte aber auch Peiresc dieses gethan, so würde er nur in den allgemeinen Irrthum seiner Zeit verfallen sein, worin er durch die Mittheilungen Kuffler's bestärkt wurde, eines Verwandten oder nach Rezzi (l. c. p. 7) eigentlich des Schwiegersohnes von Drebbel.

Vergleicht man nun mit diesen auf blossen Gerüchten beruhenden Ansprüchen das bestimmte und offene Zeugniss von Willem Boreel, welches in dem vorhin (S. 588) mitgetheilten Briefe niedergelegt ist, so kann meines Erachtens nicht daran gezweifelt werden, dass Hans und Zacharias Janssen die ersten und wahren Erfinder des zusammengesetzten Mikroskops waren, und Drebbel hat nur ein von ihnen verfertigtes späterhin nachgemacht. Willem Boreel tritt hier als Augenzeuge auf: er hat Hans und Zacharias Janssen und ebenso Drebbel persönlich gekannt; den Sohn Zacharias nennt er seinen Spielkameraden, den Drebbel bezeichnet er aber, bei Gelegenheit seiner Gesandtschaft nach London, als *„mihi familiaris“*.

Soviel steht sicher, dass, wenn Peiresc und Boreel das nämliche Maass von Glaubwürdigkeit beanspruchen können, des Letzteren Zeugniss über Sachen, die er selbst gesehen und aus dem Munde genau damit bekannter Personen gehört haben will, das meiste Gewicht hat. Denn Peiresc, wenn auch in gutem Glauben, gedenkt in seinen Briefen nur dessen, was ihm zu Ohren gekommen war, ohne dass er den Erfinder persönlich kannte. Es würde auch nicht Wunder nehmen, wenn noch mehrere derartige Briefe von Andern aus dieser Zeit gefunden würden, in denen man ebenfalls Drebbel als Erfinder des Mikroskops bezeichnete; es würden alle solche Zeugnisse, wenn nicht Einzelnheiten näher darin angegeben würden, nichts weiter darthun können, als dass

---

ist dieser Begleitbrief aber auch noch deshalb merkwürdig, weil aus der Beschreibung des Instruments und der Anweisung zu seinem Gebrauche auf überzeugende Weise hervorgeht, dass es vollkommen mit jenem Instrumente übereinstimmte, welches Peiresc nach Rom geschickt und welches Galilei einige Monate vorher gesehen hatte.

der Name der wahren Erfinder damals noch nicht bekannt war und Drebbel als solcher galt *).

Ist es nun auch nicht mehr in Zweifel zu ziehen, dass die Erfindung 392
des zusammengesetzten Mikroskops in Holland jener der Teleskope um mehrere Jahre vorausging, also auch der Verfertigung eines Mikroskops durch Galilei, so fällt es doch sehr schwer, das Jahr genau anzugeben, in welchem die Erfindung wirklich stattgefunden hat.

Aus Boreel's Zeugniss ersieht man nur, dass diese Erfindung lange vor 1610 fällt, und dass erst der Statthalter Moritz, dann aber der Erzherzog Albrecht jeder ein solches Mikroskop geschenkt erhielten. Letzterer wurde 1595 zum Generalgouverneur ernannt, kam aber erst 1596 nach Brüssel. Drebbel verliess 1604 sein Vaterland, begab sich an den Hof des Königs Jacob von England, verliess diesen aber nach einigen Jahren wieder und zog nach Prag. Wahrscheinlich während seines Aufenthalts in Prag erhielt Drebbel vom Erzherzog Albrecht das von Hans und Zacharias Janssen empfangene zweite Mikroskop. Das ist alles, was wir von der Geschichte dieses zweiten Mikroskops wissen, das also nicht vor 1596 an den Erzherzog und nicht vor 1604 an Drebbel gekommen sein kann.

Ueber das erste Mikroskop, welches Prinz Moritz erhalten hatte, lässt sich noch weniger etwas Sicheres vermuthen. Moritz folgte bereits 1584 seinem Vater, also wahrscheinlich mehrere Jahre vor der Erfindung des Mikroskops. Boreel, der 1591 geboren war, führt nämlich seinen Spielgenossen Zacharias Janssen ausdrücklich mit als Erfinder auf. Angenommen nun, Zacharias sei nur ein paar Jahre älter gewesen als Boreel, und es habe die Erfindung etwa in seinem 15. Jahre statt gehabt, so würde man dieselbe kaum früher als im Jahre 1600 an-

*) Der Hauptgrund, den Rezzi gegen das Zeugniss von Boreel geltend machen will, ist folgender: Boreel habe in dem nämlichen Briefe nicht nur die Erfindung des Mikroskops, sondern auch jene des Teleskops dem Hans und Zacharias Janssen zugeschrieben, und zwar sollten sie diese Erfindung etwa um das Jahr 1610 gemacht haben. Nun sei es aber Galilei bereits 1609 bekannt gewesen, dass man dieses Instrument in Holland erfunden hatte. Dann lässt sich selbst noch hinzufügen, dass es seit den Nachforschungen van Swinden's (S. 589) als ausgemacht gelten kann, dass die Erfindung wirklich 1608 und zwar fast gleichzeitig durch Johannes Lippershey in Middelburg und durch Jacob Metius in Alkmaar erfolgte. Boreel's Brief enthält somit eine Unwahrheit. Doch ist es gewiss nicht gerechtfertigt, wenn man darauf hin ihn ganz als Zeugen verwerfen will. Was Boreel über die Erfindung der Teleskope angiebt, verräth weit weniger persönliche Bekanntschaft mit der Sache. Er erzählt nur mit gutem Glauben, was er von Anderen, denen er seinerseits glaubte, darüber gehört hat. Hätte er, oder hätten die Anderen in der That täuschen wollen, dann hätten sie die Erfindung auf eine frühere Zeit verlegt, statt sie zwei Jahre nach der wirklichen Erfindung anzusetzen. Boreel's Irrthum in dieser Beziehung darf daher seiner Glaubwürdigkeit in Dingen, wo er die Personen und die Sachen gekannt hat, keinen Eintrag thun.

nehmen können. Da nun Moritz 1605 nach Zeeland kam, wo auf Kosten der Staaten ein Lager abgehalten wurde (*Aanmerkingen op Wagenaar's Vaderlandsche Historie* IX, p. 89; p. 182 der *Aanmerkingen*), so darf man auf die Vermuthung kommen, dass er in diesem Jahre das Mikroskop geschenkt erhielt.

Man hat aber Gründe, anzunehmen, dass Zacharias Janssen bei der Geburt des Boreel nicht mehr so jung war, als des Letzteren Angaben im Ganzen anzudeuten scheinen. Unter den übrigen bei Pierre Borel aufgeführten Zeugnissen kommt zwar keins vor, worin der Erfindung des Mikroskops gedacht wird, selbst nicht in den Zeugnissen des Sohnes und der Schwester des Zacharias. Das darf aber nicht Wunder nehmen, da jene Zeugnisse in gerichtlicher Form aufgenommen wurden und die vorgelegten Fragen nur auf die Erfindung des Teleskops Bezug hatten. Aus dem Zeugnisse des Sohnes Johannes Zachariassen ersieht man aber doch, dass dessen Vater Zacharias 1590 schon ein ausreichendes Alter gehabt haben muss, um etwas zu erfinden. Dasselbe lautet nämlich: *Et primo praedictus Joannes Zacharides affirmavit, illa telescopia primum esse inventa et confecta a patre suo, cui nomen erat Zacharias Joannides, idque contigisse (ut saepe inaudiverat) in hac civitate anno Christi* 1590. *Quod tamen longissimum telescopium illo tempore confectum non excessit quindecim aut sedecim pollicum longitudinem. Affirmavit tunc, duo talia telescopia oblata fuisse, unum videlicet Illustrissimo Principi Mauritio, alterum vero Archiduci Alberto, et tantae similis longitudinis telescopia in usu fuisse usque in annum* 1618. *Tunc eum demum (ut affirmabat hic testis) ipse et pater ejus, nempe praedictus Joannes Zacharias Joannides invenerunt fabricam et compositionem longiorum telescopiorum, quibus etiam nunc utuntur nocte ad inspiciendas stellas et lunam* etc.

Bereits van Swinden hat darauf hingewiesen, dass in diesem Zeugniss ein paar Widersprüche mit Boreel's Brief vorkommen, die ihn nöthigten, die Richtigkeit der Angabe, als habe Zacharias Janssen bereits 1590 die Teleskope erfunden, in Zweifel zu ziehen, und als das Richtigere anzunehmen, dass sowohl Jacob Metius in Alkmaar als Johannes Lippershey in Middelburg ziemlich gleichzeitig, etwa um 1608, die ersten Teleskope verfertigt haben. Man darf aber wohl soviel aus jenem Zeugniss entnehmen, dass im Jahre 1590 Janssen das eine oder das andere optische Instrument erfunden hat. Mir kommt es nun nicht unwahrscheinlich vor, dass dies das zusammengesetzte Mikroskop war, womit auch die angegebene Länge desselben im Vergleiche zu jener, welche Boreel dem bei Drebbel gesehenen Mikroskope zuschreibt, ganz übereinstimmt. Dass sein Sohn Johannes Zachariassen 65 Jahre später die Erfindung des Mikroskops mit der Erfindung des Teleskops verwechselt habe, scheint keine allzu gewagte Vermuthung zu sein. Diese Vermuthung hat um so mehr für sich, weil damals, wie es scheint, wo das Teleskop weit mehr bekannt war als das Mikroskop, beide Instrumente wohl unter dem gemeinschaftlichen Namen des Teleskops begriffen wurden. So haben wir bereits oben (S. 590) gesehen, dass Galilei im

Jahre 1620 ein „Teleskop“ erwähnte, welches dazu eingerichtet war, dass man in der Nähe befindliche Gegenstände besser als mit blossem Auge sehen konnte, und noch im Jahre 1627, als das zusammengesetzte Mikroskop in Italien wohl bekannt war, bezeichnete nach Rezzi (l. c. p. 47) Nicola Aggiunti, Galilei's Schüler, dasselbe als Microtelescopium (*Oratio de mathematicae laudibus.* Rom. 1627). Auch finden wir in den Schriften aus der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts Mikroskope und Teleskope immer durch den nämlichen Namen bezeichnet, nämlich *Ocularia* im Lateinischen, *Occhiali* bei den Italienern, *Kykers* und *Oogglazen* bei den Holländern.

Es ist Schade, dass De Kanter und Ab Utrecht Dresselhuys sich vergeblich bemüht haben, das Geburtsjahr des Zacharias Janssen aus den Taufregistern zu ermitteln. (*De Provincie Zeeland.* Middelburg 1824. *Bylag.* p. 88.) Doch fehlt es nicht an Beweisen dafür, dass er wirklich viele Jahre älter war als Boreel. Nach dem Zeugniss des Sohnes, der 1655 ein Alter von 52 Jahren erreicht hatte, war Janssen bereits 1603 Vater, wo also Boreel erst 12 Jahre zählte. Hätte er sich mit 25 Jahren verheirathet, so wäre er 1577 geboren und im Jahre 1590 hätte er 13 Jahre gezählt. Als Boreel noch ein Kind war, konnte Janssen schon ein ziemlich erwachsener Jüngling sein. Als Janssen's Todesjahr wird in der Schrift von De Kanter und Ab Utrecht Dresselhuys das Jahr 1642 angegeben; ist er daher 1577 geboren, so würde er 63 Jahre alt geworden sein.

Noch ein auffallender Umstand, den ich nicht ganz mit Stillschweigen übergehen will, ist der, dass Johannes Zachariassen nur seinen Vater Zacharias als Erfinder nennt, und den Grossvater Hans oder Johannes gar nicht erwähnt. Dies kann sich aber wohl daraus erklären, dass er seinen Grossvater nicht gekannt hat, der also schon vor oder bald nach 1603 gestorben sein müsste. In dieser Beziehung ist Boreel ebenfalls ein mehr zuverlässiger Zeuge; er erklärt, den Grossvater sehr gut gekannt zu haben und oftmals in seinem Laden gewesen zu sein.

Alles Gesagte zusammengenommen, führt darauf:

1. dass das zusammengesezte Mikroskop gewiss mehrere Jahre vor 1610 in Middelburg erfunden worden ist;

2. dass sicherlich das zuerst verfertigte Mikroskop nicht vor 1584 an den Prinzen Moritz gekommen sein kann, und das zweite nicht vor 1596 an den Erzherzog Albrecht;

3. dass Manches dafür spricht, es habe die Erfindung schon 1590 stattgefunden.

Vielleicht ist es Herrn Rezzi ehrenvoller vorgekommen, Galilei's 393
Ruhm an einen Mann wie Drebbel abzutreten, der den stolzen Titel eines Königlichen Mathematikus führte und seiner Zeit vielen als ein grosser Gelehrter galt, als an ein paar einfache Brillenschleifer; ich

meinestheils lege weniger Werth auf diese Verschiedenheit. Wenn wir Drebbel nach den paar Schriften beurtheilen wollen, welche er verfasst hat, so steht er sehr weit unter seinen grossen Zeitgenossen Galilei und Keppler. In diesen Schriften zeigt sich ein mystischer, grübelnder Geist, aber nur wenig ächte Naturkenntniss. Hätte ihn der ächte Trieb der Naturforschung beseelt, dann würde er das Mikroskop, welches jedenfalls schon 1619 in seinen Händen war, zu wissenschaftlichen Untersuchungen benutzt haben, wie es in Rom geschah, sobald man dort damit bekannt geworden war. Es würde zu weit abführen, wenn ich für dieses ungünstige Urtheil über Drebbel die nöthigen Beweise vorbringen wollte; wenden wir uns daher in die Werkstätte der Brillenschleifer Hans und Zacharias Janssen, die nach meiner Meinung der eigentliche Schauplatz der Erfindung ist.

Schon drei Jahrhunderte früher waren die Brillen erfunden worden; sie waren überall in Gebrauch und in jeder nur irgend bedeutenden Stadt fanden sich Brillenschleifer (S. 584). Waren nun aber die vergrössernden Linsen schon seit Jahrhunderten in Gebrauch, so bedurfte es zur Erfindung des Teleskops wie des Mikroskops weiter nichts, als dass zwei solche Linsen auf eine passende Weise vereinigt wurden.

Nach einer alten Sage soll das Mikroskop oder das Teleskop, oder es sollen beide zufällig erfunden worden sein, indem die Kinder eines Brillenschleifers mit zwei Brillengläsern spielten und sie über oder hinter einander hielten. Ich will auf dergleichen Sagen nicht mehr Gewicht legen, als sie verdienen; aber es lässt sich nicht verkennen, dass hier einiger Grund zu der Annahme vorhanden ist, es werde eher ein glücklicher Zufall zur Erfindung geführt haben, als eine Reihe philosophischer Betrachtungen. Nur glaube ich den Zufall, dem man die Erfindung des Mikroskops verdankt, auf eine etwas andere Art mir denken zu müssen. Bekanntlich werden Brillengläser und Linsen erst mit Substanzen von immer mehr zunehmender Feinheit geschliffen und dann polirt. Was ist nun natürlicher, als dass man annimmt, die damaligen Brillenschleifer sind wie die heutigen verfahren, sie betrachteten nämlich ihre Gläser durch ein anderes vergrösserndes Glas, um sich davon zu überzeugen, ob noch Risse da wären und ob die Oberfläche gut polirt sei. Und musste es nicht dem einen und dem andern von ihnen bei dem so oft sich wiederholenden Vorgange augenfällig werden, dass die unter den Gläsern befindlichen Dinge, wenn diese Gläser zufällig in der gehörigen Entfernung von einander waren, sich stärker vergrössert darstellten, als wenn sie durch ein einfaches Glas betrachtet wurden? Wenn wir die Sache so ansehen, dann muss man sich wohl eher darüber wundern, dass drei Jahrhunderte bis zu dieser Erfindung vorübergehen konnten, als dass zuletzt ein einfacher Brillenschleifer wirklich diese Erfindung machte.

394 Es muss gewiss befremden, dass die Erfindung eines Instruments, wodurch dem untersuchenden Auge eine ganz neue Welt erschlossen

wurde, zuerst so wenig Aufmerksamkeit erregte, dass sein Vorhandensein Jahre lang kaum ausserhalb des Wohnorts der Erfinder bekannt war.

Weder in Keppler's *Dioptrice*, welche zuerst 1611 erschien, noch in des Syrturus*) *Telescopium sive ars perficiendi novum illud Galilei visorium instrumentum ad sidera* etc. Francof. 1618, worin vom Teleskope und vom Schleifen der Teleskopgläser die Rede ist, findet sich etwas aufgezeichnet, was auf deren Bekanntschaft mit dem Mikroskope hindeutet.

Es muss aber um so mehr befremden, wenn wir sehen, dass Keppler mit den Gesetzen, welchen das Licht beim Durchgange durch mehrere convexe Linsen folgt, schon ganz gut bekannt war. Er lehrt nicht nur, sondern erläutert auch durch Abbildungen, „wie man durch zwei convexe Linsen die Objecte grösser und deutlicher, aber umgekehrt sieht," und er giebt ferner an, „wie man drei convexe Linsen stellen muss, um die Objecte grösser und deutlicher, zugleich aber auch in der natürlichen Stellung zu sehen." (Keppler, *Dioptrice seu demonstratio eorum, quae visui et visibilibus propter conspicilia non ita pridem inventa accidunt* etc. Aug. Vindel. 1611, p. 41, 45.) Ich muss aber bemerken, dass es ihm offenbar nur darum zu thun war, nachzuweisen, ein Teleskop könne auch aus convexen Linsen zusammengesetzt sein, statt aus convexen und concaven, deren man sich bis dahin bedient hatte.

In der That scheinen viele Jahre verflossen zu sein, bevor das Mikroskop allgemein bekannt wurde, und es verfloss selbst ein noch längerer Zeitraum, bevor einzelne damit vorgenommene Untersuchungen öffentlich bekannt gemacht wurden. Wenn Holland stolz darauf sein darf, das Vaterland des Teleskops und Mikroskops zu sein, so gebührt dagegen Italien die Ehre, unter seinem Himmel die ersten Früchte für die Wissenschaft durch beide Instrumente gesammelt zu haben. Galilei richtete sein Teleskop nach dem Himmel und entdeckte das System der Jupitersmonde. Francisco Stelluti untersuchte schon 1625, also ein Jahr, nachdem das Mikroskop nach Rom gekommen war, verschiedene Theile der Honigbiene damit und machte seine Beobahctungen bekannt**).

*) Syrturus wohnte in Mailand und bereiste Italien, Spanien, Deutschland und Holland, um alle Formen der Linsen und der optischen Instrumente kennen zu lernen. In Middelburg verweilte er einige Zeit bei Lippershey, in Neapel bei Porta, in Rom bei Cesi und bei Galilei. Vom Letzeren erzählt er (p. 27), dass er ihm die Linsen aus dem Rohre des Teleskops herausnahm, so dass er sie auf seinem Zimmer untersuchen und messen konnte. Er schweigt aber ganz vom Mikroskope, und dies kann fast als vollgültiger Beweis gelten, dass dieses Instrument damals in Italien noch nicht bekannt war.

**) *Apiarium ex frontispiciis naturalis theatri principis Federici Caesii Lyncei, S. Angeli et S. Poli Principis I, Marchionis montis Caelii II, Baronis Romani depromptum, quo universa mellificum familia ab suis prae-generibus derivata, in suas species ac differentias distributa in physicum conspectum adducitur. Franciscus Stellutus Lynceus Fabrianensis microscopio observavit. Romae, superiorum permissu, anno* 1625. Auf dem von Greuter gestochenen Titelblatte steht noch: *Urbano VIII*

Nach Köln soll 1638 das erste Mikroskop aus England gekommen sein. Leibnitz (*Otium Hannov.* p. 185) erzählt nämlich: *P. Johanninus mihi narravit, quemdam Judaeum medicinae doctorem primum microscopium ex Anglia Coloniam attulisse anno* 1638.

Den Grund, warum das Mikroskop der gelehrten Welt so lange unbekannt geblieben ist, kann man zum Theil darin finden, dass die Erfinder dem niedern Stande angehörten. Meines Erachtens giebt es aber noch andere Gründe dafür. Erwägen wir nämlich, welchen gewaltigen Eindruck überall die Erfindung des Teleskops hervorbrachte, so dass wenige Jahre nach dessen Erfindung bereits mehrere Schriften darüber und über die damit gemachten Entdeckungen erschienen waren, so wird es wahrscheinlich, dass gerade die ziemlich gleichzeitige Erfindung beider Instrumente der Grund gewesen ist, weshalb jeder nach dem Teleskope griff, um die Wunder zu schauen, welche sich dadurch in den Räumen des Himmels aufthaten. Jeder hatte den Blick nach oben gerichtet, und man vergass deshalb jenes niedrige Werkzeug, wodurch man gebückten Hauptes nach scheinbar unbedeutenden und meistens verachteten Dingen schaute. Erst nachdem man im Gebrauche der Teleskope sich einigermaassen ersättigt hatte, als sich vielleicht viele enttäuscht sahen, die in ihren überspannten Erwartungen davon geträumt hatten, noch viel mehr mit diesem Instrumente sehen zu können, als nur überhaupt möglich ist*), als daher seine Benutzung sich auf jene einschränkte, die es auf eine wahrhaft wissenschaftliche Weise zu benutzen verstanden, dann erst wandte sich der Haufe derer, die nach neuen und ungehörten Sachen verlangten, dem fast vergessenen Mikroskope zu. Aber erst dann, als Hooke, Malpighi, Leeuwenhoek und Grew ihre unsterblichen Werke bekannt machten, fing man an einzusehen, dass die Wissenschaft mit der Erfindung des Mikroskops Grosses gewonnen hatte, erst da begriff man es, dass, gleichwie das Teleskop das Gebiet des Auges in der Ferne erweiterte, so das Mikroskop ein tieferes Eindringen des Auges zur Folge hatte.

Zahlreiche Veränderungen und Verbesserungen kamen allmälig zu Stande. Um diese in gehöriger Ordnung vorzuführen, wird es nöthig, die weitere Geschichte einer jeden Mikroskopart einzeln durchzugehen.

Pontifico maximo accuratior ΜΕΛΙΣΣΟΓΡΑΦΙΑ *a Lynceorum Academia perpetuae devotionis symbolum offertur.* S. über Stelluti: *Odescalchi, memorie istorico-critiche dell' accademia de' Lincei. Roma* 1806 u. Horkel in den Monatsber. d. Berl. Akad. Mai 17. 1841.

*) Meinte doch noch Descartes (*Oeuvres publiées par V. Cousin.* V, p. 130), dass man mit dem Teleskope die kleinen Körper auf den Sternen eben so deutlich werde unterscheiden können, als die Körper auf der Erde, wenn es nur gelingen sollte, hyperbolische Linsen für das Instrument zu verwenden.

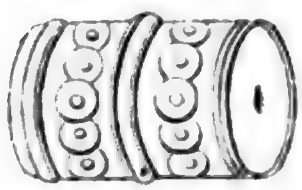
Vierter Abschnitt.

Das einfache dioptrische Mikroskop.

Wir haben bereits gesehen, dass die Kenntniss des Vergrösserungsvermögens convexer durchsichtiger Körper und selbst linsenförmiger Gläser ins hohe Alterthum hinaufreicht; ich habe aber auch die Bemerkung hinzugefügt, dass die eigentliche Geschichte des einfachen Mikroskops erst von dem Zeitpunkte anfängt, wo man Linsen mit ziemlich kurzem Focus herzustellen unternahm, wodurch eine bedeutendere Vergrösserung erreicht wurde, und sehr wahrscheinlich sei es erst nach und in Folge der Erfindung des zusammengesetzten Mikroskops hierzu gekommen. 395

Die ersten einfachen Mikroskope, von denen wir Nachricht haben, waren sehr wenig geeignet zu Beobachtungen, da ihnen die Mittel abgingen, den Abstand zwischen Linse und Object zu ändern. Zahn (*Oculus artificialis.* Herbipoli 1685. Fund. III, p. 109; eine vermehrte Ausgabe erschien Nürnb. 1702) zählt sie daher zu den *Microscopia ludicria*, im Gegensatz zu den *Microscopia seria.* Sie heissen bei Zahn (Fund. II., p. 168) auch *Engyscopia*, welchen Namen in neuerer Zeit Goring wieder aufgewärmt oder auch wohl selbst ausgedacht hat. Dieselben bestanden aus einem kurzen Rohre, mit einer Linse an dem einen Ende und einem flachen Glase am andern Ende, auf welchem letzteren ein kleines Object, etwa ein Floh, eine Mücke, festgeklebt war (Fig. 214); daher sie auch als *Microscopia Vitra pulicaria* oder als *Vitra muscaria* bezeichnet werden. Aus der Beschreibung von Hevelius (*Selenographia.* Gedani 1647. Lib. 2, p. 43) ersieht man, dass diese Mikroskope etwa

Fig. 214.



Vitrum pulicarium.

einen Zoll Länge hatten, die Linse aber das Segment einer Kugel von zwei Zoll Durchmesser war. Sie vergrösserten demnach 9 bis 10 Male *).

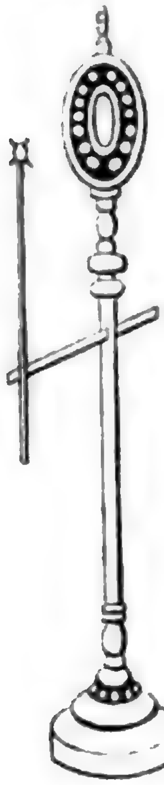
Ein solches *Vitrum pulicarium* gab einmal zu einem sonderbaren Auftritte Veranlassung, den uns der Jesuit Schot in der *Magia universalis naturae et artis.* Bamb. 1677, p. 534 mittheilt. Ein gelehrter und durch seine Schriften bekannter Mann reiste aus Holland durch Bayern und Oesterreich nach Tyrol, wo er von einem Fieber befallen wurde; er musste daher auf einem Dorfe bleiben und starb daselbst. Bevor die Bewohner die Leiche zur Erde bestatteten, schritt der Schulze mit dem Gemeinderathe zur Untersuchung der Effecten des Verstorbenen, und darunter fanden sie auch ein solches *Vitrum pulicarium.* Der Schulze und die anderen entsetzten sich bei diesem Anblicke; sie erkannten in dem Verstorbenen einen Giftmischer, der den Teufel in einem Gläschen eingeschlossen mit sich umhertrug und wollten ihm das Begräbniss verweigern. Während man sich noch darüber stritt, wurde das Instrument durch Zufall oder auch wohl absichtlich geöffnet, und es kam ein Floh zum Vorschein, den man für den Teufel angesehen hatte. Durch Zahn (l. c. Fund. III, p. 109) erfahren wir, dass der Mann, dessen Mikroskop den armen Bewohnern des österreichischen Dorfes einen solchen Schrecken einjagte, niemand anders gewesen ist, als Scheiner, der gelehrte Verfasser der im Jahre 1630 erschienenen *Rosa ursina.*

Man hatte auch Mikroskope mit einer einfachen Linse, die sich am Ende eines Rohrs befand, mit solcher Einrichtung, dass eine Scheibe, auf

*) Aus der vergrösserten Abbildung einer Laus bei Thomas Muffetus, *Theatrum insectorum sive minimorum animalium.* Lond. 1634. p. 259, scheint aber hervorzugehen, dass man schon damals Linsen mit einem weit kürzern Focus, die also auch stärker vergrösserten, benutzte. Nach der Länge von 56 Millimeter zu urtheilen, muss die Abbildung wahrscheinlich bei einer 25- bis 30maligen Vergrösserung stattgefunden haben. Dass aber kein zusammengesetztes Mikroskop, sondern nur eine einfache Linse benutzt wurde, das scheint durch eine Stelle in dem vorausgeschickten Briefe des Herausgebers Theodor de Mayerne an William Paddy bewiesen zu werden, wo nur von der Benutzung einfacher Linsen zur Untersuchung die Rede ist. Die Stelle ist auch in anderer Beziehung merkwürdig und lautet so: *Atque adeo si conspicilia ex Crystallo φακοειδῆ (quantumvis lynceis oculis in perscrutandis atomis necessaria) sumas, miraberis cataphractorum pulicum obscure rubentem habitum, cum dorso setis rigente et cruribus hispidis, et inter duas antennas prominentem tubum carnificem, amaram puellarum luem, humanae quieti in somnis praesertim inimicissimam. Pediculorum oculos prominentes cernes et cornua, crenatum corporis ambitum. totam substantiam diaphanam, per quam cordis et sanguinis tanquam in Euripo indesinenter fluctuantis motum. Patebunt tibi petulantium pediculorum cancriformium plana corpuscula, cum harpagonibus quibus, cutim humanam perpetuo inter pilos ore lancinantes, adhaerent tenacius quam Lepades affixae scropulis. Imo ipsi acari prae exiguitate indivisibiles, ex cuniculis prope aquae lacum quos foderunt in cute, acu extracti et ungui impositi, caput rubrum et pedes quibus gradiuntur, ad solem produnt.* — Dies ist gewiss das erste Mal, wo vom Klopfen des Rückengefässes und vom Blutumlaufe, bei einem Insecte durch das Mikroskop wahrgenommen, die Rede ist. Die hier erwähnten Krätzmilben waren auch noch älteren Autoren bekannt.

der sich verschiedene Objecte befanden, sich um eine Axe herumdrehte und so immer andere Objecte in den Focus der Linse brachte. Ein solches Mikroskop war das *Microscopium parastaticum* des Athanasius Kircher (*Ars magna lucis et umbrae.* Amstelod. 1671, Lib. X, Pars 3, p. 770), das sich auch bei Zahn (l. l. p. 111) abgebildet findet. Man hatte auch Mikroskope von der nämlichen Form, wie man sie noch jetzt bei Brillenverkäufern findet (Fig. 215), nämlich eine in einen Ring gefasste Linse, die auf einem mit einem Fusse versehenen Säulchen ruht; das Object aber, etwa irgend ein kleines Insect, wurde an einer Spitze befestigt, die sich hinter der Linse in deren Focus befand. Das Instrument wurde auch wohl so eingerichtet (Fig. 216), dass es aus einer kurzen gläsernen Röhre bestand, die auf einem Fusse ruhte und durch einen Deckel geschlossen wurde; im letztern befand sich eine Linse mit ziemlich weitem Focus, durch die man die kleinen Thierchen auf dem Boden des Instruments betrachten konnte. Man nannte sie dann Mikroskopbüchschen, *Tombeaux ou Cimetières des petits animaux.* Bei Joblot (*Descriptions et Usages de plusieurs nouveaux microscopes.* Paris 1718) sind mehrere solche *Tombeaux* abgebildet, ebenso bei Zahn (l. l. p. 112) und in Ledermüller's mikroskopischer Gemüths- und Augenergötzung. Nürnberg 1761.

Fig. 215.



Altes einfaches Mikroskop.

Fig. 216.



Mikroskopbüchschen.

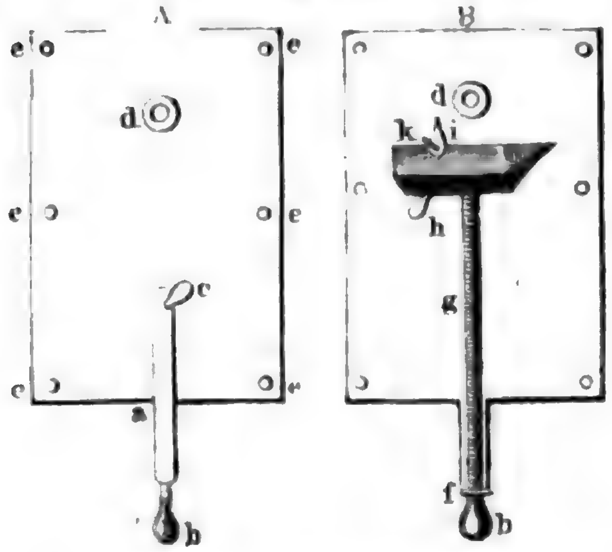
Es ist überflüssig, hier noch andere derartige Instrumente zu beschreiben. Bei Zahn kann man noch einige *Microscopia valde curiosa et ludicria* beschrieben und abgebildet finden. Es gab z. B. eins, wo man die Stadt Jerusalem durch eine Linse betrachten konnte. Es ist klar genug, dass das einfache Mikroskop in dieser Einrichtung nicht dazu geeignet war, irgend genaue Untersuchungen damit anzustellen.

Einer der ersten gab Anton van Leeuwenhoek dem einfachen 396
Mikroskope eine solche Einrichtung, dass es zu wissenschaftlichen Untersuchungen benutzbar wurde. Wann er angefangen hat, Mikroskope herzustellen und damit zu beobachten, ist ungewiss; seine erste Schrift (*Phil. Transact.* VIII.) ist vom Jahre 1673, wo er schon 41 Jahr alt war. Ueber ihn ist nachzusehen: Isaac van Haastert, *Anth. van Leeuwenhoek vereerend herdacht.* 1823, und H. Halbertsma, *Diss. de Leeuwenhoekii meritis.* 1843. Es ist hier nicht der Ort, auf seine Verdienste als mikroskopischer Beobachter näher einzugehen; ich beschränke mich darauf, die Einrichtung seiner Mikroskope näher zu betrachten, die von den damals ge-

bräuchlichen sowohl wie von den jetzt gebräuchlichen abweichen. Die Linsen hat Leeuwenhoek selbst geschliffen, nicht blos aus Glas, sondern auch aus Bergkrystall. Sie müssen sich sehr durch Reinheit und Helligkeit ausgezeichnet haben; dafür sprechen eben sowohl die Zeugnisse der Zeitgenossen (s. Folkes in den *Phil. Transact.* XXXII, p. 446), als auch viele der damit ausgeführten Beobachtungen.

Leeuwenhoek hatte eine ganz eigene Art, seine Linsen zu Mikroskopen einzurichten. Fig. 217 ist die Abbildung Baker's von einem der Mikroskope, welche Leeuwenhoek der *Royal Society* vermachte. *A* zeigt das Instrument von vorn, *B* von hinten. Die Linse befindet sich bei *d* in einem Loche zwischen zwei länglich viereckigen silbernen Platten, welche durch die kleinen Nägel *eeeeee* untereinander vereinigt sind. Mit der vorderen Platte ist ein silberner Streifen *a* durch die Schraube *c* verbunden, und der Streifen ist rechtwinkelig umgebogen, so dass er auf der anderen Seite bei *f* wieder sichtbar ist. (Vergl. Fig. 218.) In diesem umgebogenen Theile steckt eine Schraube *g*, welche oben den kleinen Objecttisch *l* trägt. Hier befindet sich ein kleiner Stachel *i* zum Aufstecken oder zum Festkleben des Objects, und durch eine kleine Handhabe *k* kann dieser Stachel umgedreht werden. Die Schraube *h* endlich, welche durch den kleinen Objecttisch geht und gegen die hintere Platte des ganzen Apparats anstösst, dient dazu, das Object in die gehörige Entfernung von der Linse zu bringen, wenn dasselbe durch die Schraube *g* in die erforderliche Höhe gebracht worden ist.

Fig. 217.



Leeuwenhoek'sches Mikroskop.

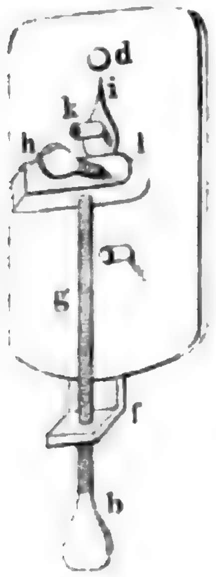
Ich habe einen solchen silbernen Leeuwenhoek bei Herrn R. T. Maitland gesehen; er hat ungefähr 2/3 der Grösse des gleich zu beschreibenden messingenen Instruments, und stimmt ganz mit der von Baker gegebenen Beschreibung und Abbildung. Die Linse vergrössert 67 Male. Ausserdem kommen auf der silbernen Platte zwei Stempel vor, nämlich V mit einer Krone und 3. Wahrscheinlich sind dies Wahrzeichen für das Silber.

Fig. 218 ist eine aus van Haastert entlehnte Abbildung eines messingenen Leeuwenhoek'schen Mikroskops, von der Hinterseite gesehen. Die Zusammensetzung ist im Ganzen wie bei dem oben beschriebenen silbernen; die gleichen Buchstaben bezeichnen die nämlichen Theile.

Von der Treue dieser letztern Abbildung habe ich mich durch Ver-

gleichung mit einem Leeuwenhoek'schen Mikroskope in dem Utrechter physikalischen Cabinette überzeugen können. Die beiden auf einander liegenden messingenen Platten sind 4,5 Centimeter lang, 2,5 Centimeter breit und grob gearbeitet. Die Schraube, welche das Object in die gehörige Entfernung von der Linse bringen soll, ist ungefähr 1 Centimeter lang und hat auf diese Strecke nur 11 Windungen, so dass die gehörige Einstellung schwer fällt, und man muss sich in der That darüber wundern, dass Leeuwenhoek mit einem so unvollkommenen Instrumente so viele treffliche Beobachtungen auszuführen im Stande gewesen ist. Die Linse dieses Mikroskops ist freilich sehr gut und ein Beweis dafür, dass Leeuwenhoek es in der Kunst, sehr kleine Linsen zu schleifen, bereits sehr weit gebracht hatte. Sie ist biconvex, wie die Linsen der 26 Mikroskope, welche Leeuwenhoek in seinem Testamente der Royal Society in London vermachte, und von denen Baker (*Employment for the Microscope*. Lond. 1753) Nachricht giebt. Für eine Sehweite von 8 engl. Zoll fand Baker bei diesen Mikroskopen 40malige Vergrösserung 1 Mal, 53mal. Vergr. 1 Mal, 57mal. Vergr. 2 Mal, 66mal. Vergr. 3 Mal, 72mal. Vergr. 2 Mal, 80mal. Vergr. 8 Mal, 100mal. Vergr. 3 Mal, 114mal. Vergr. 1 Mal, 133mal. Vergr. 1 Mal, 160mal. Vergr. 1 Mal. Die Linse im Utrechter Cabinette übertrifft aber die Londoner Linsen bei Weitem, denn sie vergrössert 270 Mal. Bei der Prüfung mit Nobert'schen Probeplättchen (§. 238, 239) zeigte es sich, dass bei günstiger Beleuchtung die dritte Gruppe noch ganz gut zu unterscheiden war, aber auch die vierte noch mit einiger Mühe. Das ist wahrscheinlich die äusserste Grenze des optischen Vermögens der Leeuwenhoek'schen Mikroskope.

Fig. 218.



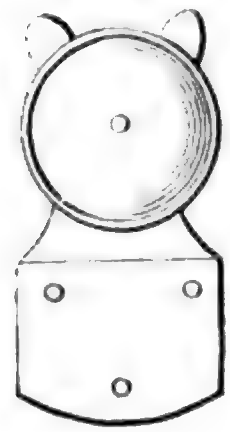
Leeuwenhoek'sches Mikroskop.

Aus der ganzen Einrichtung ersieht man übrigens, dass das Mikroskop mittelst der Hand gegen das Licht gehalten wurde; eines Spiegels für das durchfallende Licht scheint sich Leeuwenhoek niemals bedient zu haben. Uebrigens verfertigte er auch Hohlspiegelchen (Fig. 219) mit einer Linse in der Mitte, um bei auffallendem Lichte zu beleuchten (66. *Missive aan de Koninglyke Societeit te Londen*. 12. Jan. 1689). Diese Spiegelchen haben ganz die nämliche Einrichtung, wie jene späterhin von Lieberkühn eingeführten, dem man gewöhnlich, aber mit Unrecht, die Erfindung derselben zuschreibt *).

*) Ich besitze zwei Exemplare vom Auctionskataloge der Leeuwenhoek'schen Mikroskope, deren Versteigerung Montags den 29. Mai 1747 stattfand. Eins von diesen Exemplaren muss wohl der Notar oder der Auctionator bei der Versteigerung benutzt haben; es ist mit weissem Papier durchschossen, worauf die Namen aller Käufer und die gelösten Preise genau angegeben sind. Der Katalog ist etwas besser ausgestattet, als es jetzt zu geschehen pflegt: er ist

397 Mittlerweile hatten auch andere die Unvollkommenheit der damals gebräuchlichen einfachen Mikroskope gefühlt und sie zu verbessern gestrebt. Solche angeblich verbesserte Einrichtungen sind zahlreich angegeben worden, und die meisten finden sich in der zweiten Ausgabe von Zahn's *Oculus artificialis*, so wie in: Vollständiges Lehrgebäude der ganzen Optik von C. L. D. F. B. L. O. 1757, worin eine grosse Anzahl dieser älteren Mikroskope in chaotischer Verwirrung beschrieben ist. Hier soll nur von jenen Verbesserungen die Rede sein, wodurch das einfache Mikroskop wirklich verbessert worden ist, in optischer oder auch in mechanischer Hinsicht.

Fig. 219.



Leeuwenhoek's Hohlspiegel.

Isaac Vossius, der nicht nur ein ausgezeichneter Philolog, sondern auch in der Naturkunde ziemlich bewandert war, Verfasser von: *De lucis natura et proprietate*. Amst. 1662, und der *Responsio ad Objectiones Joa. de Bruin et Petiti*. Hag. Com. 1663, componirte ein einfaches Mikroskop aus zwei in einander verschiebbaren Röhrchen; seine Absicht dabei war, er wollte die Entfernung zwischen Linse und Object veränderlich machen (Philippus Bonannus l. c. p. 16).

Zu den berühmteren Mikroskopverfertigern der damaligen Zeit gehört ferner Samuel Musschenbroek (s. Elsholt in den *Miscell. Acad. Nat. Cur.* Ann. 1678 et 1679 p. 180), der von Boerhaave als der grösste und geschickteste Meister bezeichnet wird. Er scheint der erste gewesen zu sein, der das einfache Mikroskop mit einem Fusse versah,

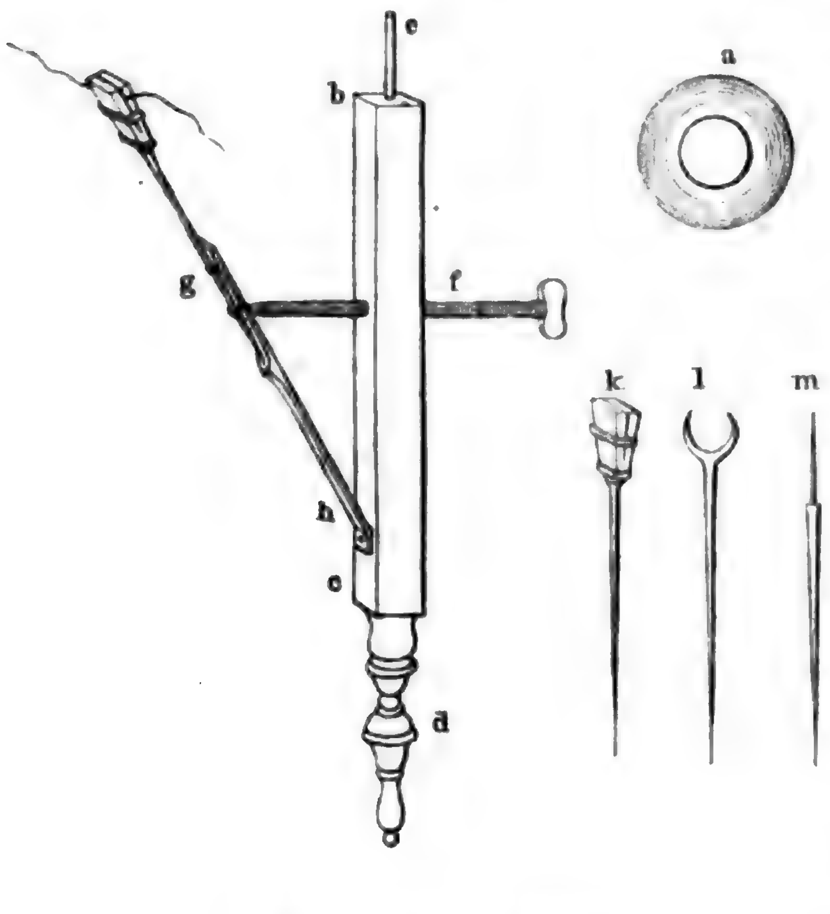
---

auf dickes Schreibpapier gedruckt und vorn findet sich ein hübsches Kupfer, sowie Leeuwenhoek's Portrait. Der Text ist Holländisch und Lateinisch zugleich. Man entnimmt aus diesem Kataloge, dass Leeuwenhoek nicht weniger denn 247 vollständige Mikroskope hinterliess, deren jedes eine Linse und meistens auch ein Object enthielt, und ausserdem noch 172 blos zwischen Platten enthaltene Linsen, zusammen also 419 Linsen. Drei von diesen Linsen sind aus sogenanntem Amersfoorter Diamanten, d. h. aus Bergkrystall verfertigt. Bei einem der Mikroskope ist angegeben, das Vergrösserungsglas sei aus einem Sandkorn geschliffen, und das davor befindliche Object sei auch ein Sandkorn. Bei zwei Mikroskopen ist angegeben, dass sie zwei Gläser haben, und ein anderes hat drei Gläser. So scheint also Leeuwenhoek auch Dublets und Triplets verfertigt zu haben, denn an ein eigentliches zusammengesetztes Mikroskop kann man bei seiner Einrichtung nicht denken. Mehr denn die Hälfte dieser Mikroskope (etwa 160) waren in Silber gefasst. Es finden sich auch drei goldene darunter: zwei davon wogen 10 Engels 17 As, das dritte 10 Engels 14 As. Eins der beiden ersteren wurde um 23 Gulden 15 Stüber verkauft, die beiden anderen blieben zurück. Das ist wohl das einzige Mal, wo ein Mikroskop nach dem Gewichte verkauft wurde. Die übrigen Mikroskope wurden paarweise verkauft, und zwar die messingenen zu 15 Stüber bis 3 Gulden das Paar, die silbernen zu 2 bis 7 Gulden das Paar. Der ganze Erlös betrug 737 Gulden 3 Stüver. Die Namen der Käufer zeigen, dass alle diese Mikroskope an Inländer gekommen sind; es ist deshalb zu verwundern, dass man jetzt nur noch so selten in Holland ein Leeuwenhoek'sches Mikroskop antrifft.

wodurch die Anwendung dieses Instruments eine wesentliche Verbesserung erfuhr. In der Biographie Swammerdam's, welche der von Boerhaave besorgten Ausgabe der *Biblia naturae* vorausgeschickt ist, wird Samuel Musschenbroek als der Verfertiger des Mikroskops bezeichnet, dessen sich Swammerdam bediente. Es bestand aus einem messingenen Tische, auf dem zwei Arme standen: an den einen Arm kam das zu zergliedernde Object, an dem andern wurden die Linsen befestigt. Diese Arme waren nach allen Richtungen beweglich und liessen sich höher und tiefer stellen; doch giebt Boerhaave nicht an, wie diese Bewegungen ausgeführt werden konnten.

Auch Cosmus Conrad Cuno von Augsburg ist hier zu nennen als Verfertiger mehrerer Arten einfacher Mikroskope, die man in der zweiten Ausgabe von Zahn's *Oculus artificialis* p. 795 und im Vollst. Lehrgeb. d. ganzen Optik S. 360, Taf. 43 beschrieben und abgebildet findet. Die zweckmässigste Einrichtung hatte das Fig. 220 dargestellte Instrument. Hier ist *b c* ein vierseitiger hölzerner Stab, unten mit einem Handgriffe *d* versehen, und oben mit einem messingenen Stifte *e*, um einen die Linse enthaltenden Ring (*a*) darauf zu stecken. Es stellt ferner *g h* einen um ein Charnier beweglichen messingenen Arm dar, mit zwei Ringen, in die man kleine Instrumente zur Befestigung der Objecte stecken kann, namentlich einen Stachel (*m*), eine kleine Gabel (*l*), eine kleine Schieberpincette (*k*), zwischen welche kleine Glimmerblättchen eingeklemmt werden konnten. Die Regulirung des Abstandes zwischen der Linse und dem Objecte wird durch die Schraube *f* erzielt, wodurch der Arm *g h* dem hölzernen Stabe mehr oder weniger genähert werden kann.

Fig. 220.

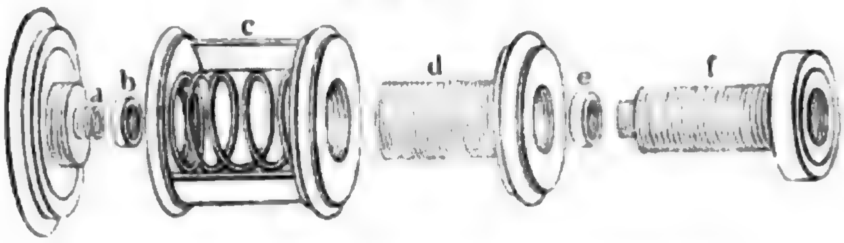


Cuno's einfaches Mikroskop.

Etwa um die nämliche Zeit gab Hartsoeker (*Essay de Dioptrique* Par. 1694. p. 175, Holländ. von Block. Amsterd. 1699. p. 166) die Beschreibung und Abbildung eines Mikroskops (Fig. 221 a. f. S.), welches in mancher Beziehung besser eingerichtet ist, als das Leeuwenhoek'sche. Es besteht aus einer an beiden Enden offenen Röhre *c*, mit einer Spiral-

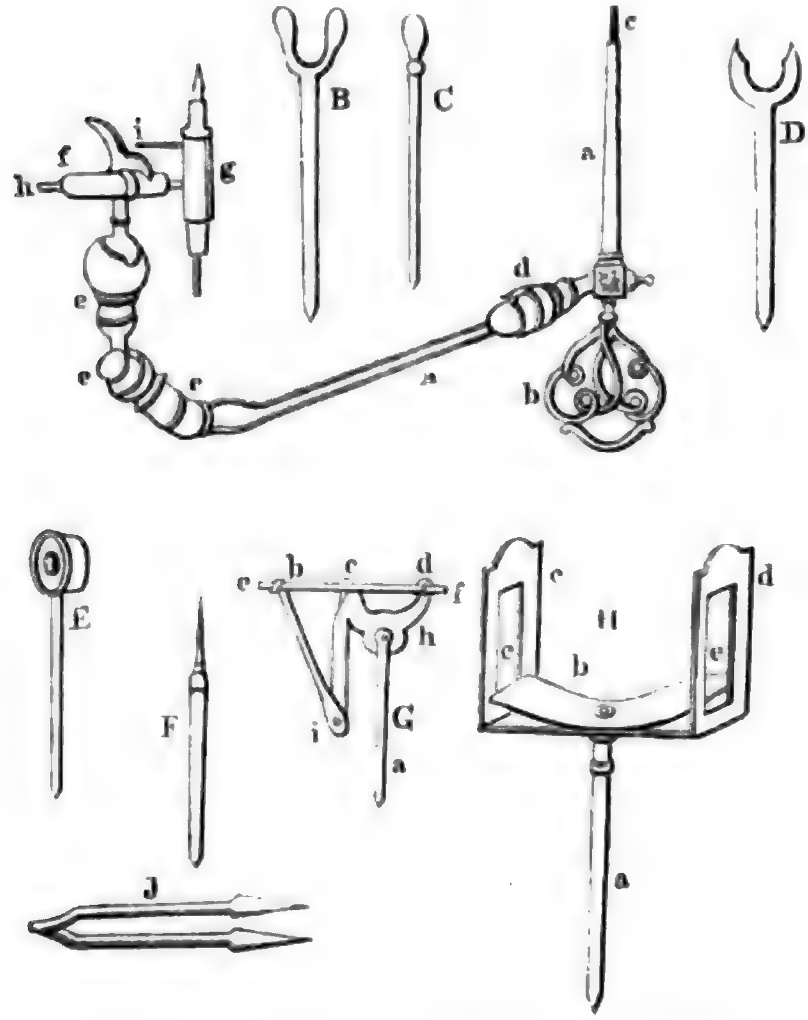
feder im Innern, wodurch die Objecte oder die sie fassenden Schieber zwischen zwei durchbohrten kleinen Platten gefasst werden können, ganz so, wie es noch viele Jahre später gebräuchlich war. Die vergrössernde Linse steckt in einem besondern Röhrchen *b*, welches durch eine Schraube *a* in die dafür bestimmte Oeffnung befestigt wird. Das Object wird der Linse durch die Schraube *d* genähert. Zur bessern Beleuchtung ist gegenüber noch eine etwas grössere Linse *e* angebracht, deren Entfernung durch die Schraube *f* regulirt werden kann. Hartsoeker gebrauchte bei diesem Mikroskope verschiedene Linsen mit einem Focus von 3 bis 4 Linien bis zu $^1/_{10}$ Linie herab. Die letzteren, welche bis über 1000 Mal vergrösserten, waren ohne Zweifel keine Linsen, sondern Glaskügelchen.

Fig. 221.



Hartsoeker's einfaches Mikroskop.

Fig. 222.

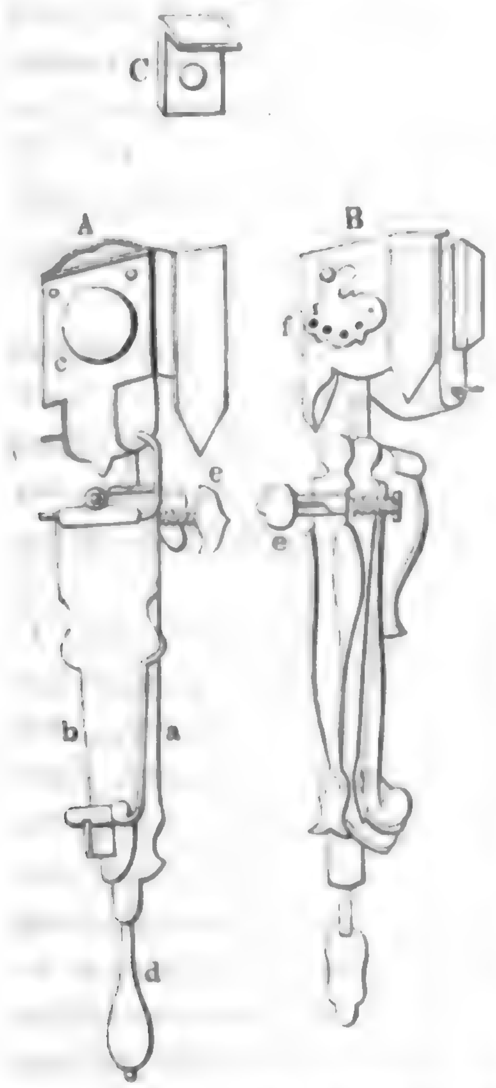


J. Musschenbroek's einfaches Mikroskop.

398 Besondere Erwähnung verdienen auch die Mikroskope des Leydener Instrumentenmachers Johannes van Musschenbroek, eines Bruders des bekannten Professors Petrus van Musschenbroek, die man bei Zahn (l. c. p. 780), im Vollst. Lehrgeb. d. Opt., S. 366 u. 573, und bei Wolf (*Elementa matheseos.* 1735) beschrieben findet. Eins davon war ganz aus Messing zusammengesetzt, zum Gebrauche schwächer vergrössernder geschliffener Linsen bestimmt und im Besondern dazu einge-

richtet, dass man das Object von allen Seiten sehen konnte. Musschenbroek's Mikroskop (Fig. 222) hatte 6 bis 9 Linsen von verschiedener Vergrösserung und in runde Ringe gefasst, welche auf das Ende *c* des Säulchens *a* geschraubt wurden. Um dieses in die Hand zu nehmen, war es mit einem abgeplatteten Handgriffe *b* versehen. An ihm war ferner der Arm *A* befestigt, der aus mehreren Kugelgelenken *deee* bestand, wodurch Beweglichkeit nach allen Seiten erzielt wurde. Das Ende dieses Armes trug eine Hülse *f* mit einem eingeklammerten Stachel *h*, an welchem noch eine zweite Hülse *g* sass. Ein Stachel *i* an dieser zweiten Hülse wurde durch einen Ring mit einer Elfenbeinscheibe gestochen, die auf der einen Seite weiss, auf der andern schwarz war, um verschiedenfarbige Objecte bei auffallendem Lichte damit betrachten zu können. In der kleinen Hülse *g* stack noch eine andere etwas längere; sie war zur Aufnahme mehrerer kleiner zum Mikroskope gehöriger Nebenapparate bestimmt, nämlich: 1) der Apparat *H*, um Glastafeln und knöcherne Schieber mit aufliegenden Objecten durch die Stahlfeder *b* festklammern zu können; 2) eine in eine feine Spitze auslaufende Nadel *F*; 3) eine in zwei Spitzen auslaufende kleine Gabel *D*, die gleich der Nadel zur Befestigung weicher Körper, wie Insecten, Würmer u. s. w. bestimmt war; 4) ein in eine abgeflachte stumpfe Spitze auslaufendes kleines Instrument *C*; 5) ein ähnliches in zwei flache Spitzen auslaufendes Instrument *B*: beide waren dazu bestimmt, mittelst Terpentins zarte Objecte daran fest zu kleben; 6) ein Hornring *E* mit zwei Gläsern, einem concaven und einem geraden, um dazwischen lebende Thierchen zu bringen; 7) der bei *G* abgebildete Apparat mit drei kleinen Ringen von verschiedener Grösse bei *d* und mit gleichviel kleinen Häkchen bei *c*; sie dienten zur Aufnahme eines gläsernen Röhrchens *ef*, welches mit einer zur Untersuchung bestimmten Flüssigkeit gefüllt und durch die Stahlfeder *ib* festgehalten wurde; 8) eine Schieberpincette, wie die in Fig. 220, *k* abgebildete, sowie eine Pincette *J* zum Fassen der Objecte. Zu diesem Mikroskope gehörte also schon ein ziemlich vollständiger Satz von Hülfswerkzeugen für die Untersuchung der verschiedenen Arten von Objecten.

Fig. 223.



Anderes einfaches Mikroskop von J. Musschenbroek.

Ein anderes Mikroskop Musschenbroek's (Fig. 223) war ausdrücklich dazu bestimmt, die Benutzung stark vergrössernder Glaskügelchen zu erleichtern.

Diese kamen nämlich zwischen zwei dünne, länglich viereckige Stückchen Messingblech *C*, und dieser kleine Apparat wurde in die Oeffnung *c* des bei *A* abgebildeten Gestells geschoben. Sechs solche Glaskügelchen von verschiedener Grösse gehörten zum Mikroskope. Das Gestell hatte eine Handhabe *d*; die Annäherung der Linse aber wurde durch die Schraube *e* und die Feder *b* bewirkt. Das Bemerkenswertheste an diesem Mikroskope ist aber, dass auf der Hinterseite *B* sich ein kleines Kästchen *f* befindet, welches je nach Bedarf auch weggenommen werden kann. Es ist bestimmt, die Beleuchtung zu reguliren, und zu dem Ende hat es aussen eine kleine um eine Axe bewegliche Platte mit Löchern von verschiedener Grösse, um je nach der Art des untersuchten Objects mehr oder weniger Licht eintreten zu lassen. Solche bewegliche Platten hat man jetzt dem Mikroskope wieder beigefügt und als eine Erfindung von Lebaillif aufgenommen. Ein Mikroskop von Musschenbroek, welches der vorangehenden Beschreibung entspricht, befindet sich aber noch im physikalischen Cabinette zu Leyden.

Teuber's Mikroskop, welches auch für die Benutzung kleiner Glaskügelchen bestimmt war, stimmt in vieler Hinsicht mit dem Musschenbroek'schen überein. (Kaschuben, *Cursus mathematicus*. Jen. 1707 p. 379.)

Zu den in der ersten Zeit gebräuchlichen Mikroskopen rechne ich auch die sogenannten Cirkelmikroskope (Fig. 224), deren Name sich darauf bezieht, dass sie die Gestalt eines Cirkels hatten, dessen einer Schenkel die Linse, der andere aber das Object trug. (S. Vollst. Lehrgeb. d. Opt., Taf. 47, Fig. 1, u. Ledermüller a. a. O. Taf. 70.) Nach Ledermüller hat Mayer in Dresden dieselben zuerst verfertigt.

Fig. 224.



Cirkelmikroskop.

399 In der Kunst des Linsenschleifens für Mikroskope scheint aber bis dahin keiner den Leeuwenhoek übertroffen zu haben. Das Mühsame des Linsenschleifens war Ursache, dass man auf andere Mittel bedacht war, und statt der Linsen geschmolzene Glaskügelchen zu benutzen anfing.

Der erste, der dies versuchte, war Hooke. In der Vorrede zu seiner im Jahre 1665 herausgekommenen *Micrographia* beschreibt er sein Verfahren. Ein Glasstreifen wird in der Löthrohrflamme zu einem feinen Faden ausgezogen, und das abgebrochene Ende dieses Fadens kommt hierauf in die Flamme, bis sich ein Kügelchen gebildet hat, welches dann abgebrochen und auf einem mit einem Loche versehenen Messingtäfelchen so befestigt wird, dass der rückständige Theil des Glasfadens an die Seite des Loches zu liegen kommt. Hooke scheint indessen mit seinen Glaskügelchen nicht recht zufrieden gewesen zu sein, da er seine meisten Beobachtungen mit einem zusammengesetzten Mikroskope ausgeführt hat.

Bald nachher (1668) verfertigte Hartsoeker (*Essay de Dioptrique*)

Glaskügelchen auf eine ähnliche Weise. Da er mittelst derselben die schon früher von Ham entdeckten Samenthierchen wahrnehmen konnte, so müssen seine Glaskügelchen sehr gut gewesen sein, und sicherlich müssen sie sehr bedeutend vergrössert haben.

Einige Jahre später (1677) machte Butterfield (*Philos. Transact.* 1677, p. 226) sein Verfahren bekannt, welches darin bestand, dass er fein pulverisirtes Glas an der Spitze einer Nadel in die Weingeistflamme hielt, bis es zu einem Kügelchen zusammengeschmolzen war *).

Zahn beschreibt auch die Methode, wie Friedrich Schrader (*De microscopiorum usu.* Gotting. 1681) die Glaskügelchen herstellte. Sie unterscheidet sich nur darin von der vorhergehenden, dass Schrader kein Glaspulver nahm, sondern ein Stückchen Glas, das er mittelst einer Flüssigkeit an die Spitze einer Nadel brachte und in die Löthrohrflamme hielt.

Philippus Bonannus (*Micrographia curiosa* p. 18) theilt eine Geschichte von de Monconny (*Journ. des Voyages* II, p. 161) mit. Dieser erzählt nämlich, in Amsterdam habe er bei de Hudd (wahrscheinlich kein anderer, als der Amsterdamer Bürgermeister Hudde) ein Mikroskop gesehen; dasselbe habe aus einer einzelnen vergrössernden Linse bestanden, aber eine zweite grössere Linse sei noch zur stärkern Beleuchtung hinter dem Objecte angebracht gewesen. Er erzählt dann weiter, dass ihm de Hudd die Methode gezeigt habe, wodurch man stark vergrössernde Glaskügelchen gewinnt. Nach der Beschreibung war dies aber keine andere als die Schrader'sche **).

Johannes Musschenbroek, von dessen Mikroskopen schon die Rede war, verfertigte ebenfalls solche Glaskügelchen ganz nach der Methode von Hooke; nach dem Zeugnisse von Zeitgenossen (Hertel's Anweisung zum Glasschleifen. Halle 1716, S. 71) scheint er es darin sehr weit gebracht zu haben.

Archibald Adams (*Philos. Transact.* 1710, p. 24) beschrieb 1710 seine Methode, die aber keine andere ist, als die von Hooke.

Hertel (Anweisung zum Glasschleifen. S. 72) benutzte einen Brennspiegel, um das auf ein Stück Holzkohle gelegte Glasstückchen in Fluss zu bringen.

*) Nach Phil. Bonannus hat Butterfield auch noch ein besonderes Schriftchen darüber Französisch herausgegeben. Aus dem Briefe an die *Royal Society* ersieht man, dass Butterfield auf seine Methode dadurch gekommen war, dass er ein mit einem Glaskügelchen versehenes Mikroskop sah, welches Huygens aus Holland mitgebracht hatte. Huygens giebt das Nämliche in einem Briefe an die Pariser Akademie an (*Mém. de l'Acad.* XI, p. 608); der Name des Verfertigers wird hier aber nicht genannt. In Huygens Dioptrik (*Opera reliqua* II, p. 173) wird zur Anfertigung eine Methode empfohlen, die ganz mit jener von Hudde übereinstimmt. Deshalb erscheint es wahrscheinlich, dass jenes Mikroskop, welches Huygens mit nach Paris brachte, von Hudde stammte.

**) C. Beudeker (*Aanteekeningen op de Lustplaats Soelen* p. 39) nennt Johannes Hudde den Erfinder der kleinen Vergrösserungsgläser. Aus dem Mitgetheilten erhellt, in welchem Sinne diese Angabe zu verstehen ist.

Stephen Gray (*Philos. Transact.* Nr. 221. *Smith*, *Opticks.* II, p. 394) brachte die Glasstückchen ebenfalls auf eine Holzkohle; er brachte sie aber durch die Löthrohrflamme in Fluss, und schliff dann die Kügelchen auf der einen Seite gerade.

Benjamin Martin (*System of Opticks.* 1740, p. 180) giebt zwei Methoden an, die aber nicht wesentlich abweichen von Hooke's und von Schrader's Verfahren.

In der Kunst, stark vergrössernde Glaskügelchen herzustellen, hat es aber Niemand so weit gebracht, als Pater Giovanni Maria della Torre in Neapel (S. *Nuove osservazioni microscopiche.* Con 14 Tav. in 4. *Napoli* 1776. *Antonio-Barba*, *Osservazioni microscopiche sul cervello. Napoli* 1819. Deutsch von Schönberg. Würzb. 1829. Barba gebrauchte bei seinen Untersuchungen nur Glaskügelchen, die er nach der Methode seines Lehrers della Torre anfertigte). Er schmilzt ein Glaskügelchen in ähnlicher Weise, wie Hooke, aus einem Glasfaden und bringt es in eine muldenförmige Höhle in einem Stückchen Tripel, worin das Kügelchen noch einmal durch die Löthrohrflamme geschmolzen wird. Seine Glaskügelchen vergrösserten ungemein stark. Im Jahre 1765 erhielt die *Royal Society* in London mehrere: das grösste hatte $^1/_{36}$ Zoll Durchmesser und gab eine 640fache Vergrösserung; das kleinste hatte nur $^1/_{144}$ Zoll Durchmesser und gab eine 2560fache Vergrösserung. Baker untersuchte diese Kügelchen und erklärte, er könne nichts dadurch sehen. Manche Beobachtungen della Torre's beweisen aber, dass diese Kügelchen durchaus nicht so unbrauchbar gewesen sein können, als Baker angiebt. Auch rühmt Lalande die della Torre'schen Mikroskope, die er auf seiner italienischen Reise sah, gar sehr. (S. *Montucla*, *Hist. des Mathématiques.* III, p. 511.)

Später hat Sivright (*Edinb. philos. Journ.* 1829, I, p. 81) ihre Herstellung wesentlich dadurch verbessert, dass er in ein Stückchen Platinblech ein kleines Loch macht, ein kleines Stückchen Glas darauf legt und es nun in die Löthrohrflamme hält, wo es eine runde Form bekommt.

Einige Jahre später empfahl Crooke wieder eine neue Methode: Glasstückchen werden nämlich auf einer vorher mit Kreide bestrichenen Eisenplatte über Kohlen geschmolzen.

Chevalier (Die Mikroskope u. s. w. S. 30) theilt auch das Verfahren von Laligant mit, welches ganz mit dem von Hooke übereinstimmt. Dasselbe ist der Fall mit der früher von Nicholson (Gilbert's Annal. 1800. IV, S. 252) empfohlenen Methode.

Nach einer Mittheilung Gaudin's im Jahre 1850 (*Comptes rendus.* XXX, p. 141) hat derselbe schon zehn Jahre früher der französischen Akademie geschmolzene Linsen angeboten, die 50 bis 400 Mal vergrösserten, und aus Kronglas und Bergkrystall bestehen sollten. Er erwähnt aber nichts darüber, wie er den Bergkrystall zum Flusse bringt.

Endlich habe ich selbst viele Jahre hindurch ein Mikroskop benutzt, dessen stärkere Vergrösserungsgläser aus solchen Kügelchen be-

standen; diese wurden auf eine Weise hergestellt, die als eine Vereinigung der Methoden von Hooke und von Sivright zu betrachten ist (*Bulletin des Sc. phys. et nat. en Neerlande* 1839, p. 370).

Bei der grossen Vervollkommnung des zusammengesetzten Mikroskops in den letzten Jahren, und da gegenwärtig ganz brauchbare Mikroskope um einen verhältnissmässig geringen Preiss zu haben sind, werden solche kleine Glaskügelchen statt Linsen wohl nur noch selten beim einfachen Mikroskope gebraucht werden. Indessen kommen doch noch Fälle vor, wo man sie mit Vortheil verwendet, z. B. zur Erzeugung sehr kleiner dioptrischer Bildchen. Ich glaube daher nichts Ueberflüssiges zu thun, wenn ich hier angebe, wie sie nach meiner Erfahrung am besten hergestellt werden.

Dazu sind folgende Dinge erforderlich: 1) zwei oder drei Millimeter breite Streifen von gewöhnlichem Fensterglas oder auch von dünnem Spiegelglas; 2) Platinblech von der Dicke, wie es in der Regel zu chemischen Untersuchungen benutzt wird; 3) eine gewöhnliche Spirituslampe; 4) zwei Pincetten, eine kleinere und feinere, um die Glaskügelchen damit zu fassen, eine gröbere, um die Stückchen Platinblech damit zu halten; 5) ein kleiner flacher Hammer; 6) einige gewöhnliche Nähnadeln von verschiedener Feinheit; 7) eine Platte aus Kork oder weichem Holz; 8) eine ebene Bleiplatte; 9) ein kleines Pappschächtelchen, aus dessen Deckel der Boden entfernt und durch einen neuen aus dünnem Papier ersetzt wurde; 10) eine Scheere.

Das erste ist, dass man aus Platinblech ein paar runde oder viereckige Stückchen ausschneidet, etwa von drei bis vier Millimeter Durchmesser. Man legt dieselben auf die Kork- oder Holzplatte, und mit einer Nadel bohrt man in die Mitte eines jeden ein kleines Loch. Die Grösse dieser Oeffnung muss sich natürlich nach der Grösse des Kügelchens richten, welches hineingeschmolzen werden soll; man rechnet auf die Oeffnung etwa $^3/_4$ der Grösse des Kügelchens. Durch das Bohren wird das kleine Platinblech etwas gewölbt und es bekommt einen Rand; deshalb legt man es nach dem Durchbohren auf die Bleiplatte, und verschafft ihm durch ein paar Schläge mit dem kleinen Hammer wiederum das geradflächige Aussehen.

Jetzt werden die Glasstreifen zu Fäden ausgezogen. Nimmt man so dünne Streifen, als empfohlen worden ist, so ist die Flamme einer gewöhnlichen Spirituslampe dazu ganz ausreichend; ja diese verdient vor der Löthrohrflamme noch den Vorzug, weil sie keinen Russ giebt. Die Dicke der Fäden ist wieder vom Durchmesser der Kügelchen abhängig, die man anfertigen will.

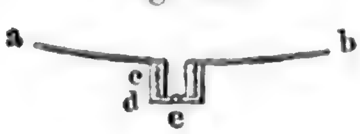
Hält man das eine Ende eines solchen Glasfadens in die Flamme, so bildet sich bald ein Kügelchen daran. Damit man nicht genöthigt ist, dasselbe mit den Fingern zu fassen, was man, um die Glasoberfläche rein zu behalten, möglichst zu vermeiden sucht, so sticht man in den Papierboden des Deckels des Pappschächtelchens ein kleines Loch, steckt das

freie Ende des Glasfadens hinein und zieht denselben heraus, bis das Kügelchen von unten an das Papier anstösst. Jetzt kneipt man auf der andern Seite des Deckels den Glasfaden durch, und das Glaskügelchen, mit einem kleinen Anhange versehen, fällt in das Pappschächtelchen.

Nun wird das durchbohrte Platinblech mit der grössern Pincette gefasst, und mit der feinen Pincette oder, bei den allerkleinsten, mit der angefeuchteten Spitze einer Nadel bringt man das Kügelchen in die Oeffnung, so dass der noch daran sitzende kleine Anhang schief zur Seite dieser Oeffnung kommt. Auf die Oberfläche des Bleches darf der kleine Anhang nicht kommen, weil in solchem Falle das Kügelchen selten die gehörige Form annimmt. Hat man es mit sehr kleinen Kügelchen zu thun, so muss dieser Theil der Arbeit unter der Lupe ausgeführt werden.

Zuletzt wird das Platinblättchen mit dem in der Oeffnung liegenden Glaskügelchen in die Spiritusflamme gehalten, und zwar dahin, wo diese die grösste Hitze entwickelt, nämlich über die Spitze des innern Kegels. Hier verschwindet der noch vorhandene Anhang des Kügelchens alsbald, indem er mit der übrigen Masse zusammenschmilzt, und dabei legt sich das Glaskügelchen an die stets vorhandenen Unebenheiten der Ränder der Oeffnung, so dass das Kügelchen gehörig befestigt wird. Nur die grösseren Glaskügelchen, die etwa über ein Millimeter Durchmesser haben, fallen nach der Abkühlung, weil sich das Glas zusammenzieht, meistens aus dem Platinbleche; diese müssen daher ganz frei, d. h. in der Weise gewöhnlicher Linsen, in den zu ihrer Aufnahme dienenden Messingröhrchen befestigt werden. Die passendste Form für diese Röhrchen ist die, welche Fig. 225 im Durchschnitte dargestellt ist. Hier ist *c* ein durchbohrter kleiner Messingcylinder, etwa 3 Millimeter lang, und oben mit einer etwas ausgehöhlten Scheibe *ab* von 20 Millimetern Durchmesser versehen. Um den kleinen Cylinder wird eine Hülse *d* geschraubt, die bei *e* eine Oeffnung für das Glaskügelchen hat.

Fig. 225.



Röhrchen für Glaskügelchen.

Natürlich kommen unter den zubereiteten Glaskügelchen immer solche vor, die sich bei der Untersuchung als unbrauchbar erweisen. Es ist deshalb räthlich, mehrere von ziemlich gleicher Grösse zuzubereiten und die besten davon auszuwählen, was auch nicht viel Zeit kostet. Bei einiger Uebung kann man ein Dutzend solcher Glaskügelchen in einer Stunde anfertigen und es reichen also ein paar Stunden hin, um einen ganzen Satz von Vergrösserungen von 80 bis zu 2000 Mal zu bekommen. Das stärkste Kügelchen, das ich angefertigt habe, vergrössert 2200 Mal im Durchmesser. Dergleichen sind aber wegen des sehr kurzen Focus als Mikroskop kaum brauchbar; man reicht vollkommen mit jenen aus, die höchstens 800 bis 900 Mal vergrössern. Auch ist zu erwähnen, dass gerade die Kügelchen, welche 300 bis 900 Mal vergrössern, das netteste Bild geben und in dieser Beziehung manchmal selbst gewöhnliche ge-

schliffene Linsen von gleicher Vergrösserung auffallend übertreffen, was man sich nur so erklären kann, dass die Kügelchen während der Schmelzung ellipsoidische oder hyperbolische Flächen bekommen, wodurch ihre sphärische Aberration abnimmt.

Versuche, die ich im Jahre 1849 mit mehreren dieser Kügelchen an Nobert'schen *) Probetäfelchen anstellte, ergaben folgende Resultate:

178malige Vergrösserung;	die 4. Gruppe sehr deutlich hervortretend, in der 5. die meisten Striche erkennbar.
453 » »	» 6. Gruppe deutlich hervortretend, die 7. gestreift.
712 » »	» 7. » eben hervortretend.
920 » »	» 7. » deutlich hervortretend.

Vergleicht man diese Resultate mit jenen, welche man bei der Untersuchung der besten neueren aplanatischen Mikroskope erhält, so ergiebt sich, dass diese Glaskügelchen ihnen im Unterscheidungsvermögen schon sehr nahe kommen, und dass sie wenigstens die früheren zusammengesetzten Mikroskope in dieser Hinsicht bei weitem übertreffen.

Kehren wir nun zur Geschichte des einfachen Mikroskops zurück, 400
so haben wir gesehen, dass während der letzten Hälfte des 17. Jahrhunderts allmälig einige Verbesserungen an demselben ausgeführt wurden, die namentlich dahin zielten, den Abstand zwischen Linse und Object veränderlich zu machen, und dass man auch bereits eine zweite Linse zur Verstärkung des Lichts zu benutzen anfing. Meistens jedoch wurden die einfachen Mikroskope noch mit der Hand gefasst und so gegen das Tages- oder Kerzenlicht gehalten, und diese Einrichtung erhielt sich auch meistens noch in den ersten Jahren des 18. Jahrhunderts.

Man begann aber allerdings auch schon jetzt, manche einfache Mikroskope zu bestimmten Zwecken mit einem Fusse zu versehen. Diese Einrichtung hatte das bereits erwähnte Mikroskop, dessen sich Swammerdam bei der Insectenzergliederung bediente, und das von Samuel Musschenbroek verfertigt worden war.

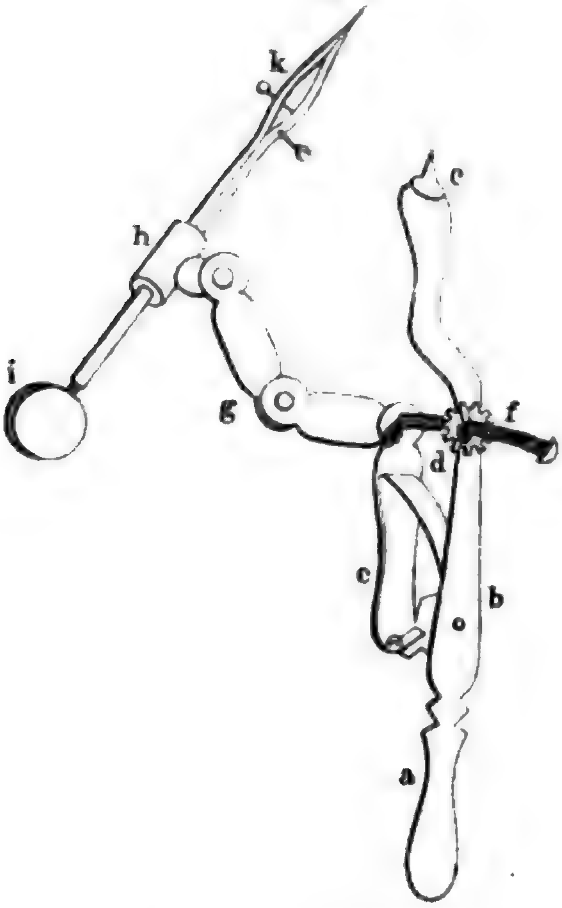
Ebenso beschrieb 1702 der Engländer Wilson (*Philos. Transact.* 1702, p. 1241) zwei Arten einfacher Mikroskope, von denen er angiebt,

*) Diese Versuche und die weiterhin vorkommenden, wo nicht das Gegentheil ausdrücklich angegeben ist, wurden seiner Zeit mit einem der ersten Probetäfelchen von Nobert mit zehn Gruppen von Linien angestellt, das von seinen späteren Täfelchen mit ebenfalls zehn Gruppen verschieden ist. Da es für den hier vorliegenden Zweck durchaus nicht nöthig war, diese Beobachtungen aus dem Jahre 1849 mit späteren Probetäfelchen zu wiederholen, so soll hier nur Ein für alle Mal diese Bemerkung stehen, damit nicht der Leser die Nummern der sich darstellenden Gruppen auf die späteren Nobert'schen Täfelchen beziehe, wo die Linien der höheren Gruppen weiter von einander abstehen und deshalb auch leichter von einander zu unterscheiden sind.

dass sie auch mit einem Fusse versehen werden könnten, falls man die damit betrachteten Objecte zu zeichnen wünsche. Eine nähere Beschreibung oder Abbildung gab er aber nicht; er bemerkte bloss, die Einrichtung sei der Art, dass das Mikroskop bequem nach dem Lichte gewendet werden könnte. Zu beiden Mikroskopen gehörte das nämliche System von Linsen, acht an der Zahl.

Das eine Mikroskop von Wilson (Fig. 226) bestand aus zwei länglichen Messingplatten *b* und *c*, die durch ein Charnier vereinigt waren, und eine Feder *d* zwischen sich hatten. Mittelst der gebogenen Schraube *f* liessen die beiden Platten sich einander nähern. Auf das zugespitzte Ende *e* der einen Platte kam das die Linse enthaltende Röhrchen. Mit der andern Platte stand ein aus mehreren Gliedern bestehender Querarm *g* in Verbindung, mit einer Hülse *h* an dem Ende, worin sich ein Draht auf- und niederschob, der auf der einen Seite in eine Kneipzange *k* ausging, auf der andern Seite dagegen eine kleine elfenbeinerne Scheibe hatte, schwarz auf der einen, weiss auf der andern Fläche.

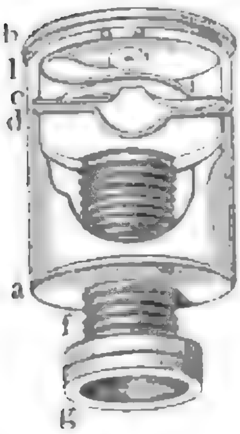
Fig. 226.



Wilson's Mikroskop.

Ein zweites Mikroskop von Wilson (Fig. 227) ist dasjenige, welches er zuerst 1702 beschrieb. Der Körper *ab* ist aus Elfenbein, aus Messing oder aus Silber, cylinderförmig, etwa zwei Zoll lang und einen Zoll breit. Oben bei *b* werden die Röhrchen mit den Linsen aufgeschraubt, unten aber der hohle Cylinder *f* mit der Beleuchtungslinse *g*, der sich durch Schrauben höher und niedriger stellen lässt. In dem Rohre befinden sich lose drei in der Mitte durchbrochene Platten, von denen die Platte *d* halbkreisförmig ausgebogen ist, um mit Flüssigkeit gefüllte Röhrchen aufzunehmen; die beiden anderen aber sind platt, um Glastäfelchen und Schieber dazwischen zu befestigen. Diese ringförmigen Platten stossen auf der einen Seite an die Feder *l*, auf der

Fig. 227.

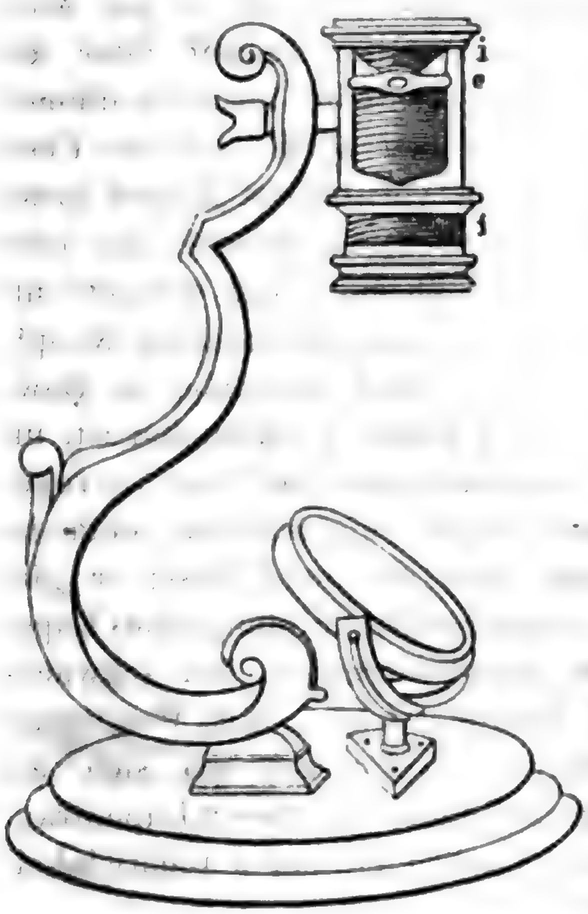


Wilson's zweites Mikroskop.

andern an die Schraube *f*, welche dazu bestimmt ist, das Object der Linse zu nähern. — Man sieht, dass dieses Mikroskop fast ganz mit demjenigen übereinstimmt, welches etwa 20 Jahre früher von Hartsoeker beschrieben worden war.

Die spätere Form, welche Wilson dem Instrumente gab, und in der es unter dem Namen Wilson's Taschenmikroskop länger als ein halbes Jahrhundert sehr allgemein in Gebrauch kam, stimmt noch mehr mit dem Instrumente von Hartsoeker, da er es auch noch mit einer mehrfach gewundenen Spiralfeder *i* (Fig. 228) versah. Um es bequemer halten zu können, wurde dann noch ein besonderer Handgriff hinzugefügt. Erst um 1740 oder etwas später versah Wilson sein Mikroskop mit einem beweglichen Spiegel, wie es in Fig. 228 dargestellt ist; wenigstens wird in Baker's *Microscope made easy*, welches 1744 herauskam, der hinzugekommene Spiegel als eine ganz neue Erfindung bezeichnet. Wir werden aber später sehen, dass er damals schon beim zusammengesetzten Mikroskope von Hertel angebracht war. Etwa um die nämliche Zeit kam das Mikroskop auch auf einen bleibenden Fuss, den man dann auch allgemein bei anderen einfachen Mikroskopen zu benutzen anfing. Dahin gehört z. B. das Mikroskop von Milchmeyer (Ledermüller's Augenergötzungen IV, S. 46, Tafel I), welches übrigens von einem der Mikroskope des Joh. Musschenbroek sich nur wenig unterscheidet, und ebenso das Mikroskop von Gleichen's (Ledermüller's Augenergötzungen III, Taf. XII), welches nichts anderes ist als ein verbessertes Cirkelmikroskop mit einem darunter angebrachten Spiegel.

Fig. 228.

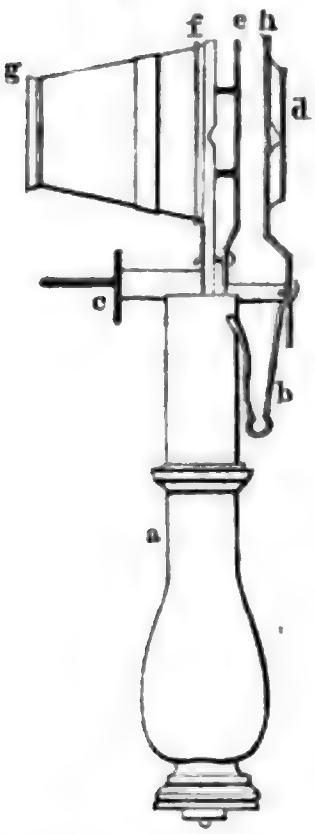


Wilson's drittes Mikroskop mit dem Spiegel.

Später wurde Wilson's Mikroskop von Steiner (Abhandlung von den Vergrösserungsgläsern S. 13, im Anhang zur Uebersetzung von Baker's *Microscope made easy*) in der Art abgeändert, dass drei Röhrchen, welche die Linsen enthalten, zusammen auf einer Platte befestigt waren, und sich um eine ausserhalb des Mikroskops befindliche Achse drehen liessen, so dass nach Willkür eine der Linsen über das Object gebracht werden konnte.

401 In Frankreich hatte in den ersten Jahren des 18. Jahrhunderts L. Joblot, Professor an der *Académie royale de Peinture et Sculpture*, einen grossen Namen als Verfertiger von mancherlei Mikroskopen. Ausführliche Beschreibungen mit vielen Abbildungen finden sich in seiner Schrift: *Descriptions et Usages de plusieurs nouveaux microscopes* etc. Paris 1718. Alle seine Mikroskope zeichneten sich durch zierliche, nette Form aus; irgend erhebliche Verbesserungen kamen aber daran nicht vor. Ein einfaches Mikroskop von Joblot ist in Fig. 229 abgebildet. Mit dem Handgriffe *a* ist zunächst die Messingplatte *h* verbunden, die eine Oeffnung hat, um das die Linse umfassende Röhrchen *d* hineinzuschrauben, und zweitens steht auch noch eine andere Messingplatte *f* mit dem Handgriffe in Verbindung, die als Objecttisch dient und deshalb in der Mitte durchbohrt ist. Das Glastäfelchen oder der Schieber mit den Objecten wird durch die dünnere Platte *e*, welche als Feder wirkt, auf der Platte *f* befestigt. Die nach vorn offene Kapsel *fg* aus Ebenholz hat den Zweck, das überflüssige Licht abzuhalten. Die Annäherung des Objects und der Linse wird durch den geränderten Knopf *c* bewirkt; derselbe setzt eine Schraube in Bewegung, welche mit der Platte *h* verbunden ist, und die Bewegung wird durch eine Stahlfeder *b* geregelt.

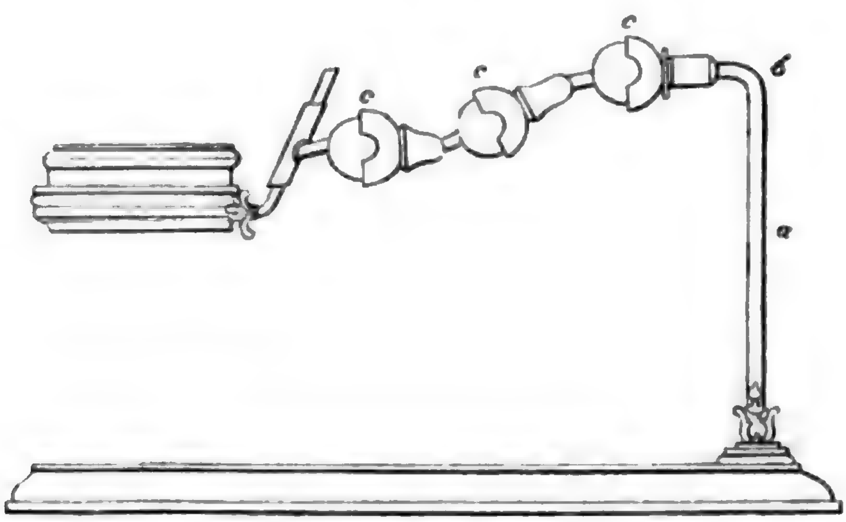
Fig. 229



Mikroskop von Joblot.

An keinem seiner eigentlichen einfachen Mikroskope hatte Joblot einen Fuss; er giebt aber die Beschreibung und Abbildung eines Lupenträgers, der zu Zergliederungen bei schwacher Vergrösserung bestimmt war. Mit Weglassung des untern Theils des Fusses, wo sich eine Ueberladung mit künstlichem Schnitzwerk findet, ist dieser Lupenträger in Fig. 230 abgebildet. Der senkrechte Theil *a* ist bei *b* rechtwinkelig

Fig. 230.



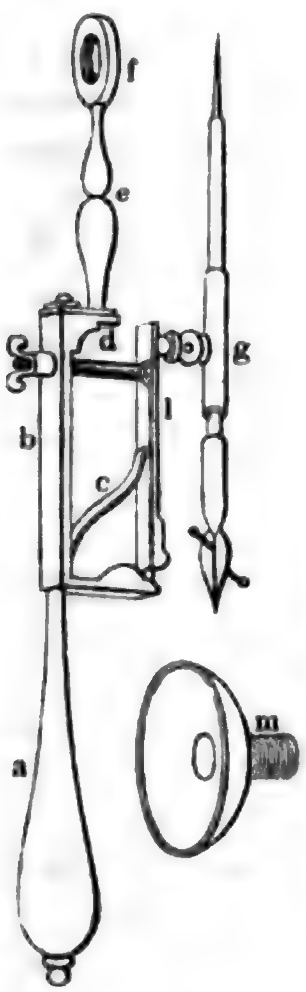
Joblot's Lupenträger.

umgebogen, und daran reiht sich ein aus drei Kugelgelenken *coe* bestehender Arm, der am Ende einen zur Aufnahme der Lupe bestimmten Ring hat. Solche Lupenträger sind noch viele Jahre hindurch allgemein in Gebrauch gewesen, namentlich nachdem Trembley (*Hist. des Polypes d'eau douce.* 1744) einen ziemlich ähnlichen zur Beobachtung der in einem Glase mit Wasser befindlichen Polypen empfohlen hatte, und nachdem Lyonet (*Traité anatomique de la chenille, qui ronge le bois de saule. A la Haye* 1762) einen solchen zu seiner ausgezeichneten Zergliederung der Weidenraupe benutzt hatte.

Allmälig hatte man es auch weit in der Kunst gebracht, kleine Glaslinsen zu schleifen. Die Linsen von Wilson's Taschenmikroskop vergrössern bis zu 400 Mal. 402

Damals machte sich auch Lieberkühn berühmt durch die Herstellung stark vergrössernder Linsen. In seiner Biographie (*Mémoires de l'Académie royale de Berlin.* 1756. p. 519) liest man, er habe Gläser von so ausserordentlicher Kleinheit geschliffen, dass man zum Vergrösserungsglase greifen musste, um sie zu sehen. Lieberkühn führte auch die Benutzung der concaven reflectirenden Metallspiegelchen zur Beleuchtung undurchsichtiger Objecte, die schon früher (S. 604) von Leeuwenhoek erfunden worden waren, seit 1738 allgemein ein. Das Gestelle des Mikroskops, wobei er diese Hohlspiegelchen benutzte, war übrigens sehr einfach, wie aus Fig. 231 zu ersehen ist. Der Handgriff *a* trägt ein ebenes messingenes Stück *b*, auf dem sich eine besondere Columella *e* mit dem Ringe *f* erhebt, bestimmt zur Aufnahme der Linse *m*, mit welcher ein Hohlspiegel verbunden ist. Das Stück *b* wird von der Schraube *d* durchbohrt, um auf das Stück *l* zu wirken, dessen Bewegung durch die Feder *c* geregelt wird. Bei *g* befindet sich eine Hülse mit einem darin gehenden Stifte, der an einem Ende in eine Spitze, an dem andern Ende in eine kleine Kneipzange ausläuft, beide zum Festhalten der Objecte bestimmt.

Fig. 231.

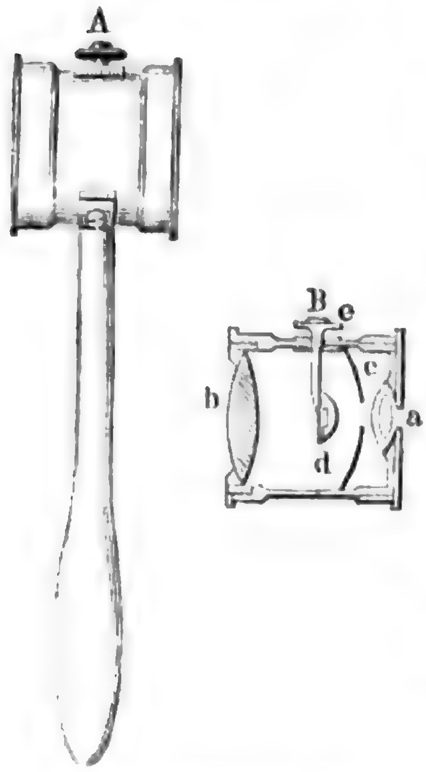


Lieberkühn's einfaches Mikroskop.

Im Museum des *Royal College of Surgeons of England* befindet sich eine kleine Sammlung von 12 Lieberkühn'schen Mikroskopen, deren jedes ein Injectionspräparat zeigt (*Quekett, Practical treatise on the use of the microscope.* Lond. 1848, p. 16). Die Zusammensetzung dieser Mikroskope (Fig. 232 a. f. S.) ist etwas anders. *A* ist ein messingenes Röhrchen, das etwa einen engl. Zoll Länge und Breite hat; an dem einen Ende befindet sich eine kleine biconvexe Linse von $^1/_2$ Zoll

Brennweite, und am andern Ende ist eine grössere Linse zur Lichtverstärkung angebracht. Bei *B* ist das Röhrchen im Durchschnitte dargestellt: *a* ist die vergrössernde Linse, theilweise in einer Aushöhlung des silbernen Hohlspiegels *c* liegend; bei *d* befindet sich das Object, welches durch die Schraube *e* auf- und nieder bewegt werden kann; *b* endlich ist die Beleuchtungslinse.

Fig. 232.



Lieberkühn'sches Mikroskop; halbe Grösse.

Lieberkühn hat auch ein anatomisches Mikroskop, das er verfertigt hatte, beschrieben und abgebildet (*Mém. de l'Acad. de Berlin.* 1734, p. 21). Es hatte eine ziemlich grosse, senkrecht auf einem Fusse stehende Messingplatte, woran sich mehrere bewegliche Haken befanden, um das Object damit auszuspannen. Vor einer Oeffnung in der Platte befand sich die Linse, die sich durch eine Schraube auf- und abbewegen liess. Ein Beleuchtungsspiegel fehlte diesem Mikroskope ebenso wie den beiden vorigen.

Kurz nach Lieberkühn versah auch Leutmann (Anmerkungen vom Glasschleifen. Halle 1738. Vollst. Lehrgeb. d. Optik, S. 187, Taf. 46. Fig. 1) die Linsen des einfachen Mikroskops mit reflectirenden hohlen Spiegelchen. Sein Mikroskop ist im Ganzen zweckmässiger eingerichtet als das Lieberkühn'sche; aber auch ihm fehlt der Spiegel.

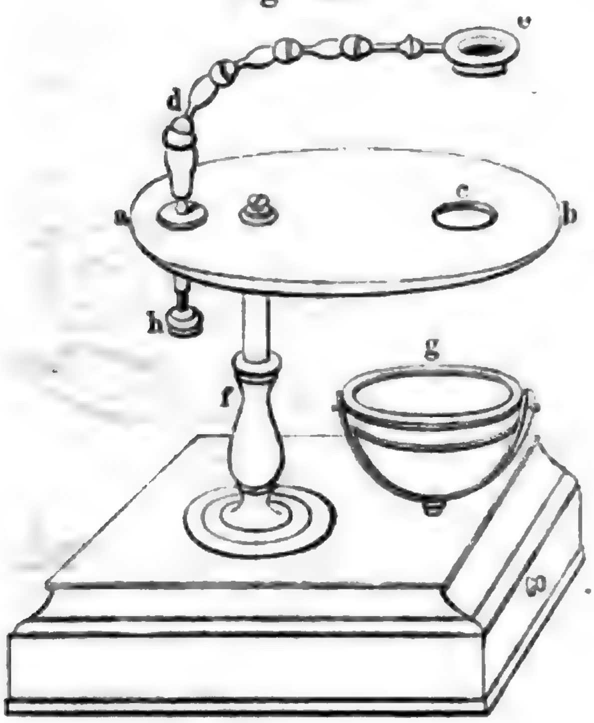
Noch ein Mikroskop für undurchsichtige Objecte wurde von Meyen (Kurze Uebersicht von der Beschaffenheit und dem Gebrauche der Vergrösserungsgläser und Teleskopien. 1747) beschrieben. Dasselbe ähnelte sehr dem Lieberkühn'schen.

Später wurden auch an den sehr gebräuchlichen Wilson'schen Mikroskopen reflectirende Spiegelchen angebracht.

403 Die bisher angefertigten und im Vorhergehenden beschriebenen einfachen Mikroskope waren nur darauf eingerichtet, ein schon vorher zubereitetes Object vor oder unter der Linse zur Wahrnehmung zu bringen. Ausgenommen das Mikroskop, welches S. Musschenbroek für Swammerdam anfertigte und dessen Zusammensetzung uns nicht ganz klar ist, das aber doch wahrscheinlich mehr eine Art Lupenträger wie der Joblot'sche war, kannte man bis dahin keins, womit man bei etwas bedeutender Vergrösserung Zergliederungen vornehmen konnte. Den Joblot'schen Apparat verbesserte Lyonet (Fig. 233) dadurch, dass er den gegliederten Arm *d* auf eine eirunde hölzerne Platte *ab* (8 Zoll lang und 5 Zoll breit) brachte, die auf der kleinen Säule *f* ruht, die man selbst wieder auf einen als Fuss dienenden Kästchen, worin die Linsen und an-

dere Dinge aufgehoben werden, aufschraubt. Der grosse Objecttisch hat eine runde Oeffnung *c*, $1^5/_8$ Zoll gross, für Glasplatten und Kästchen, worauf oder worin sich die zur Zergliederung bestimmten Objecte befinden, und ein unter dieser Oeffnung befindlicher Hohlspiegel *g* dient zur Beleuchtung des Gesichtsfeldes. Mittelst der gelenkartigen Gliederungen bringt man dann die Linse *e* in die gehörige Entfernung vom Objecte. Werden aber recht stark vergrössernde Linsen gebraucht, dann war diese Bewegung nicht genau genug, und für solche Fälle griff Lyonet zu einem recht guten Hülfsmittel, welches, wie wir weiterhin sehen werden, auch noch später, aber auf eine verbesserte Weise, in Anwendung gekommen ist. Die mittelsten Glieder des Armes brachte er nämlich bis zur Oberfläche des Objecttisches herab, und die Linse stellte er so, dass sie dem Objecte etwas zu sehr genähert war. Hierauf schob er ein ganz schief keilförmig zugeschnittenes Holzstückchen zwischen den gegliederten Arm und die Platte und hob dadurch den erstern etwas auf, bis das Object sich ganz scharf darstellte. (*Lettre à Ms. Lecat*, in seiner Abhandlung p. 4). Später hat Adams dieses Hülfsmittel dadurch entbehrlich gemacht, dass er die Schraube *h* anbrachte, wodurch der gegliederte Arm etwas gehoben werden kann.

Fig. 233.

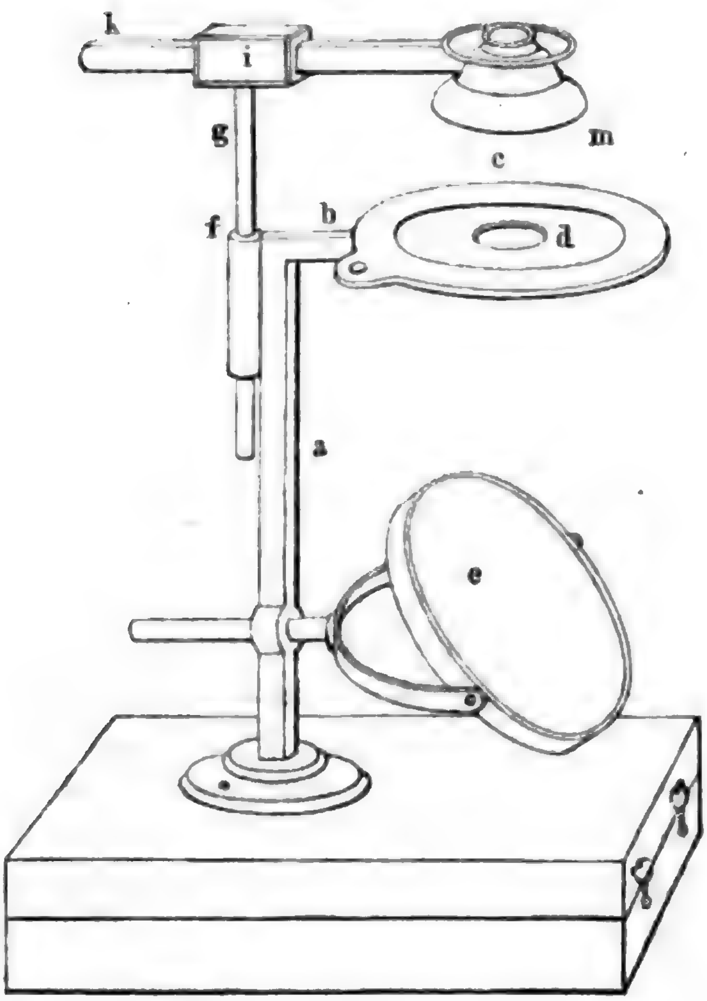


Lyonet's einfaches Mikroskop.

Schon vor Lyonet hatte Cuff ein Mikroskop angefertigt (Fig. 234 a. f. S.), welches unter dem Namen des Wassermikroskops von Ellis bekannt geworden ist, weil Ellis (*Essay towards a natural History of Corallines*, Lond. 1755) dasselbe zuerst beschrieben und zur Beobachtung mancher im Wasser lebenden Thiere benutzt hat. Das Gestell dieses Mikroskops ist offenbar jenem der zusammengesetzten Mikroskope desselben Optikers entnommen und verdient deshalb besondere Beachtung, weil es zu allen ferneren Verbesserungen in der mechanischen Einrichtung des einfachen Mikroskops den Grund gelegt hat. Daher es denn auch nicht schwer fällt, in diesem vor 100 Jahren verfertigten Instrumente das Modell zu erkennen, nach welchem die meisten späteren gearbeitet worden sind. Die Stange *a* trägt den ringförmigen Objecttisch *c*, in welchen eine geradflächige Glastafel *d* oder ein ausgehöhltes Glas eingesetzt werden kann. Der Linsenarm *k* lässt sich in dem hohlen vierseitigen Stücke *i* hin- und herschieben; dieses ruht aber auf dem Stabe *g*, der in einer an der Stange

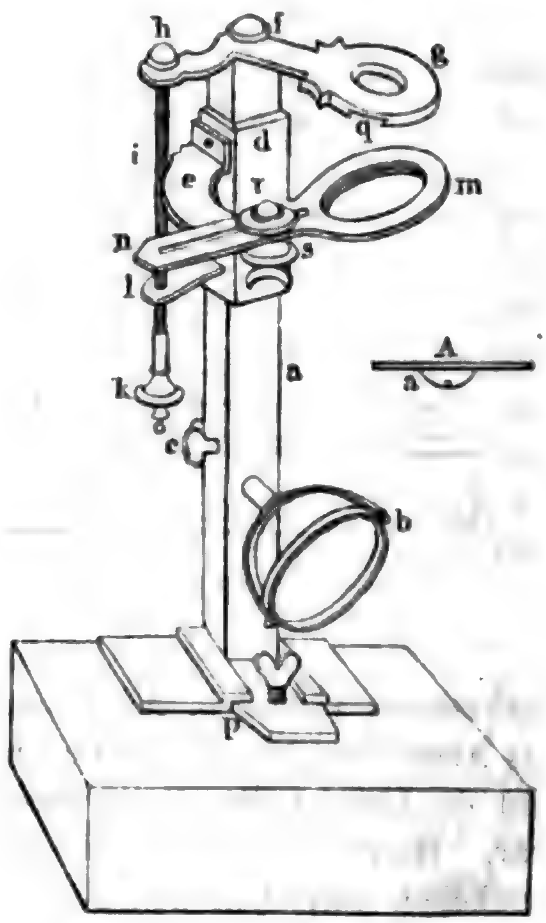
befestigten Hülse *f* auf- und niedergleiten und sich herumdrehen kann. Jede Linse *l* ist in ein Röhrchen gefasst, welches unten mit einem reflectirenden Spiegel *m* versehen ist; *e* aber ist der Beleuchtungsspiegel.

Fig. 234.



Cuff's einfaches Mikroskop.

Fig. 235.



Mazzola's einfaches Mikroskop.

Es braucht wohl kaum darauf hingewiesen zu werden, dass dieses Mikroskop, namentlich durch den ganz freien Objecttisch, zu vielerlei Untersuchungen sich weit mehr eignet, als das bis dahin allgemein in Gebrauch stehende Wilson'sche Mikroskop. Nur konnte es in dieser Form schwerlich bei sehr stark vergrössernden Linsen benutzt werden, weil das Auf- und Niederschieben des Stabes *g* in der Hülse *f* keine ganz genaue Einstellung erlaubte. Dieser Unvollkommenheit wurde übrigens später von Cuff selbst abgeholfen, wie ich an einem Mikroskope des Herrn R. T. Maitland zu sehen Gelegenheit gehabt habe. Dieses einfache Mikroskop hat eine elliptische messingene Platte als Fuss, und ausser der gröbern Bewegung durch Auf- und Niederschieben ist auch noch für die feine Einstellung gesorgt durch eine auf der hinteren Seite angebrachte Feder, ganz so wie an Cuff's zusammengesetztem Mikroskope, von dem später die Rede sein wird.

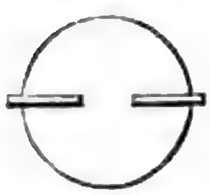
In dieser Art, mit nur wenigen in der Regel nicht nennenswerthen Modificationen, sind die meisten einfachen Mikroskope in der letzten

Hälfte des vorigen Jahrhunderts verfertigt worden, von den beiden Adams, von Martin, von Jones, von Mazzola und Anderen. Es wird deshalb genügen, wenn ich hier nur noch das Instrument des Letzteren, des in Wien lebenden Italieners Vincenz Mazzola, beschreibe, wie er es für stark vergrössernde Glasküigelchen eingerichtet hatte, deren sich Antonio Barba, ein Schüler des della Torre bediente (Fig. 235). Die vierseitige Stange wird mittelst eines Schwalbenschwanzes *p* und einer Klemmschraube auf dem Kästchen befestigt. An der Stange bewegt sich die vierseitige Hülse *d* auf und ab, mit welcher ein bogenförmiger Arm *e* verbunden ist, und auf diesem befindet sich der Objecttisch *m*, der vermöge des Ausschnitts *n* darauf hin- und hergeschoben und auch herumgedreht werden kann. Unten ist an die bewegliche vierseitige Hülse *d* eine kleine Platte *l* befestigt; durch diese geht eine Schraube *ik*, die sich oben an dem feststehenden kleinen Arm *h* herumdreht, an der Spitze der Stange. Dort befindet sich auch der Linsenarm *f*, mit einem Ringe *g* am Ende, der etwas ausgehöhlt ist. Die Glaskügelchen, in schalenförmige Röhrchen eingeschlossen, sind an eine länglich-viereckige Platte befestigt, welche in die Schwalbenschwanzrinne *q* das Armes *g* eingeschoben wird. *A* ist die seitliche Ansicht der Linsenplatte. Die Beleuchtung wird durch den Hohlspiegel *b* bewirkt.

Während nun aber die mechanische Einrichtung des einfachen Mi- 404
kroskops während des 18. Jahrhunderts allmälig einen hohen Grad von Vervollkommnung erfuhr, wurde der optische Theil während dieser Zeit wenig oder gar nicht verbessert; erst mit dem Anfange unseres gegenwärtigen Jahrhunderts machte man auf's Neue Versuche, das einfache Mikroskop auch nach dieser Seite hin zu verbessern.

Unter denen, die dies versuchten, ist zuerst Wollaston (*Phil. Transact.* 1812, p. 375) zu nennen. Er vereinigte zwei planconvexe Linsen (Fig. 236) dergestalt mit einander, dass sie einander die ebenen Flächen zukehrten, aber einen Raum zwischen sich übrig liessen, worin sich eine mit einer Oeffnung versehene metallene Scheibe oder ein Ring befand. Er wollte dadurch die Randstrahlen abschneiden und die sphärische Aberration mindern, zugleich aber auch ein grösseres Gesichtsfeld bekommen. Deshalb bezeichnete er eine solche Vereinigung als periskopische Linse.

Fig. 236.

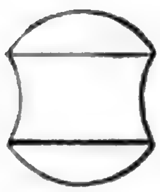


Wollaston's periskopische Linse.

Brewster bemerkte mit Recht, dass, wenn eine solche periskopische Linse möglichst zweckmässig eingerichtet sein sollte, die Höhlung zwischen den beiden Linsen und dem Metallringe mit einer Masse ausgefüllt werden müsste, deren Brechungsvermögen dem des Glases nahe kommt, z. B. mit Canadabalsam. Späterhin machte er, gemäss den von Wollaston aufgestellten Principien, den Vorschlag, in eine Kugel eine ringförmige Grube zu schleifen (Fig. 237 a. f. S.); diese sollte die Stelle des eben genannten Metallringes vertreten. Dieser Vorschlag

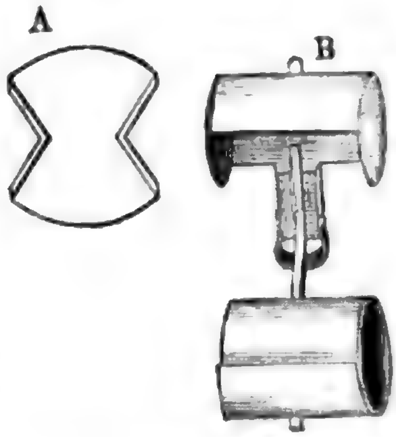
wurde beifällig aufgenommen. Coddington (*Phil. Transact.* 1830, p. 69) glaubte ihn namentlich dadurch leichter ausführen zu können, dass er der Grube eine schärfere Form gab (Fig. 238. *A*). Es sind hier die Residuen der zwei planconvexen Linsen in der Form zweier abgestutzter Kegel vereinigt, und deshalb wurden solche Linsen auch Coneopside oder Vogelaugenlinsen genannt. In Fig. 238 *B* ist dargestellt, wie sie gewöhnlich gefasst werden, um sie bequem in der Tasche tragen zu können. Eine andere Form der Coddington'schen Vogelaugenlinsen ist Fig. 239 dargestellt, die dem beabsichtigten Zwecke offenbar gleich gut entspricht. Dass derartig gestellte Linsen auch aus sehr kleinen Kugeln sich herstellen lassen, erhellt aus der Angabe von Brewster (*Treatise on the microscope.* Edinb. 1837, p. 30), dass Blackie aus Granat ein solches rinnenartig ausgehöhltes Kügelchen geschliffen hat, dessen Durchmesser nur $^1/_{24}$ engl. Zoll, also etwa 1 Millimeter betrug. Wirklich bekommt man durch solche Coddington'sche Linsen, wenn sie gut gearbeitet sind (wie man sie z. B. von Lerebours bezieht), ein sehr scharfes Bild. Sie sind indessen mit einer Unvollkommenheit behaftet, wodurch sie sich weniger eignen zu dem Zwecke, wofür sie eigentlich bestimmt sind, nämlich als Lupe zu dienen. Dies ist die geringe Entfernung des Focus, die es nöthig macht, das Object der Oberfläche der Linse immer mehr zu nähern, als bei einer planconvexen oder biconvexen Linse von gleich starker Vergrösserung erforderlich ist.

Fig. 237.



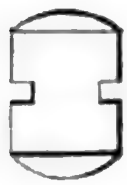
Brewster's ringförmig vertiefte Kugel.

Fig. 238.



Coddington's Coneopsid.

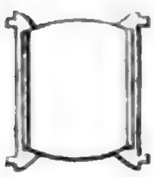
Fig. 239.



Andere Form von Coddinton's Vogelaugenlinse.

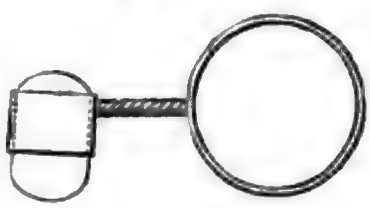
Der nämliche Tadel trifft auch die Cylinderlupen (Fig. 240), die schon seit langer Zeit hier und da in Gebrauch sind, über deren erste Anfertigung mir aber nichts bekannt ist. Sie bestehen aus einem cylinderförmigen, an beiden Enden convex geschliffenen Stück Glas, welches in eine messingene Röhre gefasst ist. Ihnen entgeht aber auch ausserdem der Vorzug, die sphärische Aberration zu verbessern; diese ist bei ihnen gleich gross, wie bei einer biconvexen Linse von gleicher Krümmung, weil die ringförmige Grube

Fig. 240.



Cylinderlupe.

Fig. 241.



Stanhope's Linse.

fehlt. Dies zu bemerken, erscheint deshalb nicht überflüssig, weil solche Cylinderlupen nicht selten als Coddington'sche Lupen verkauft werden.

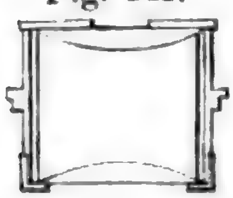
Als eine Modification der Cylinderlupe ist die Stanhope'sche Linse (Fig. 241) zu nennen. In der Regel ist sie in eine silberne Hülse gefasst, die mit einem Ringe in Verbindung steht, um sie in der Hand zu halten. An beiden Seiten hat sie gewölbte Oberflächen; die dem Auge zugekehrte Fläche ist aber weit stärker gewölbt und so geschliffen, dass kleine auf der andern gewölbten Fläche liegende Objecte sich gerade in der gehörigen Entfernung befinden, um scharf gesehen zu werden. Die Convexität dieser letztern Fläche trägt daher nichts zur Vergrösserung bei; sie soll nur der Krümmung des Gesichtsfeldes correspondiren und dieselbe möglichst aufheben. Es ist aber klar, dass die nämliche Stanhope'sche Linse nicht für alle Personen passen kann, da kein Mittel vorhanden ist, die Entfernung der Objecte der gewöhnlichen Sehweite der verschiedenen Augen entsprechend abzuändern. Diese Unvollkommenheit lässt sich nur dadurch ausgleichen, dass man aus einem Vorrathe solcher Linsen eine aussucht, die wirklich ein scharfes und reines Bild giebt, ohne dass das Accommodationsvermögen des Auges dabei besonders in Anspruch genommen wird. Die Anzahl der Objecte, deren Natur es gestattet, dass man sie auf eine gewölbte Fläche bringt, um sie ganz genau zu erkennen, ist aber gewiss klein, und deshalb wird diese Linseneinrichtung, der sonst unverkennbar eine ganz richtige Idee zu Grunde liegt, wohl stets nur in einem beschränkten Maasse sich nützlich bewähren. Nach der Eigenthümlichkeit der Form lassen sich diese Linsen auch nicht klein und gewölbt genug machen, dass man damit irgend erhebliche Vergrösserungen hervorbringen könnte. Die von Lerebours verfertigten Linsen, wie eine in der obenstehenden Figur abgebildet ist, geben meistens eine 30malige Vergrösserung. Freilich soll ihm auch eine 80malige Vergrösserung gelungen sein (*Comptes rendus* 1841, 29. Mars); allein auch das ist noch nicht ausreichend für praktische Zwecke, wie die Untersuchung des Bluts, der Sputa und anderer Auswurfsstoffe, wozu man diese Linsen im Besondern empohlen hat.

Ein bedeutender Fortschritt in der Verbesserung des einfachen Mikroskops, und damit auch, wie wir weiter sehen werden, des zusammengesetzten Mikroskops, erfolgte dadurch, dass man zwei oder mehr Linsen zu einem System vereinigte. Bei einer früheren Gelegenheit (§. 125) habe ich, soweit der Zweck dieses Buches es zuliess, dargethan, dass durch eine derartige Vereinigung nicht nur die Vergrösserung zunimmt, sondern auch die sphärische und chromatische Aberration verbessert wird; daher man, ohne der Schärfe des Bildes Eintrag zu thun, solchen Doublets und Triplets eine viel grössere Oeffnung geben kann, wodurch die Helligkeit gesteigert wird, mit der ja das durchdringende Vermögen gleichen Schritt hält. 405

Solche Linsensysteme sind zwar erst in der neuern Zeit in allge-

meinern Gebrauch gekommen; ihre Nutzbarkeit scheint aber schon frühzeitig von Einzelnen erkannt worden zu sein. Schon oben (§. 396) bemerkte ich, dass man wohl annehmen müsse, Leeuwenhoek habe Doublets und selbst Triplets verfertigt. Aber noch vor diesem hatte Eustachio Divini (*Phil. Transact.* 1668. Nr. 42, p. 842) eine Vereinigung von zwei planconvexen Linsen, die mit ihren convexen Flächen an einander stiessen, als Ocular für ein zusammengesetztes Mikroskop benutzt, und später werden wir sehen, dass Grindl von Ach, der nur wenig später lebte, in seinem zusammengesetzten Mikroskope alle Linsen in dieser Art paarweise vereinigte, und dass auch andere um die nämliche Zeit zu den Objectiven eine Vereinigung von zwei Linsen benutzten. Was namentlich das einfache Mikroskop betrifft, so findet man bei Joblot (*Descriptions et usages de plusieurs nouveaux microscopes.* Par. 1718, p. 43) eins beschrieben und abgebildet, wo zwei biconvexe Linsen einander bis über die Brennweite genähert sind, so dass sie deshalb, wie Joblot selbst angiebt, zusammen ein in die rechte Stellung gebrachtes Bild des Objects erzeugen. Er verfertigte auch solche mit planconvexen Linsen und brachte diese in zwei besondere auf einander verschiebbare Röhrchen, wodurch verschiedenartige Vergrösserungen erzielt wurden. Solche Vereinigungen zweier nur wenig vergrössernden Linsen sind späterhin als Lupen in Gebrauch geblieben, und bei den englischen Mikroskopen aus der letzten Hälfte des vorigen Jahrhunderts kommen sie nicht selten vor. In Fig. 242 ist eine, die zu einem Adams'schen Mikroskope gehört, im Durchschnitte dargestellt.

Fig. 242.



Doublet von Adams.

Indessen war Euler (*Mém. de l'Acad. de Berlin.* 1764, XX. p. 105) der erste, der die Vorzüge einer solchen Vereinigung aus theoretischen Gründen nachwies und zugleich auch die Form der Linsen berechnete, die sich am besten dazu eignen müsste. Die Rechnung führte ihn darauf, dass ein solches Dublet aus einer biconvexen Linse und einem Meniscus bestehen sollte. Bei der erstern müsse der Radius der Vorderfläche das 4,7982fache und jener der Hinterfläche das 0,6085fache der Focaldistanz betragen; bei der zweiten müsse der Radius der Vorderfläche — 0,8153 und jener der Hinterfläche 0,3248 der Focaldistanz betragen. Der Abstand der beiden Linsen von einander müsse je nach der Brennweite ein verschiedener sein. Euler's Empfehlung scheint aber wenig Eingang gefunden zu haben; wenigstens ist mir nicht bekannt, dass jemals ein solches Doublet nach seiner Berechnung angefertigt worden ist.

Im Jahre 1821 wurde der Gegenstand wiederum von John Herschel (*Phil. Transact.* 1821, p. 246) aufgenommen. Er berechnete die Krümmungsgrösse für verschiedene Combinationen, bei denen die Aberrationen mehr oder weniger vollständig aufgehoben werden. Die erste hat eine gewisse Uebereinstimmung mit der bereits von Euler vorgeschlagenen; sie besteht ebenfalls aus einer biconvexen Linse und einem Meniscus.

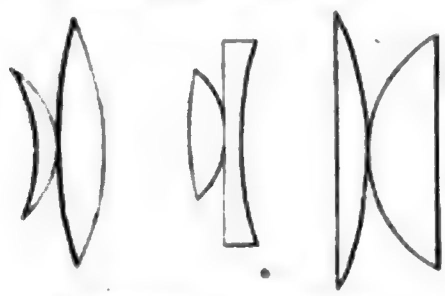
Während aber Euler die beiden Linsen in eine gewisse Entfernung von einander brachte, die je nach der Brennweite des Systems verschieden war, brachte sie Herschel, wie in Fig. 243, in Berührung mit einander, daher denn auch die Krümmungen der Linsen für jede Brennweite andere sein mussten. Er berechnete folgende Krümmungen und Brennweiten für zwei solche Doublets:

	I.	II.
Brennweite der ersten Linse	+ 10,000	+ 10,000
Radius der ersten Fläche	+ 5,833	+ 5,833
Radius der zweiten Fläche	— 35,000	— 35,000
Brennweite der zweiten Linse	+ 17,829	+ 5,497
Radius der ersten Fläche	+ 3,688	+ 2,954
Radius der zweiten Fläche	+ 6,291	+ 8,128
Brenweite der vereinigten Linsen	+ 6,407	+ 3,474

Im Mikroskope muss die gewölbte Seite dem Auge zugekehrt sein.

Durch diese Vereinigung wird besonders die Aberration in der Mitte des Sehfeldes gehoben; dagegen passt sie weniger dazu, Objecte in einem ausgedehnten Gesichtsfelde mit gleicher Schärfe zur Wahrnehmung zu bringen. Für diesen Fall eignet sich eher die Vereinigung zweier Linsen, wie in Fig. 244, wenngleich dadurch die Aberration bei weitem nicht in dem Maasse verbessert wird, wie durch die vorige Combination. Sie besteht aus einer Linse von der besten Form (§. 52), verbunden mit einer planconvexen Linse, deren Brennweite sich zu jener der ersten verhält wie 2,6 : 1.

Fig. 243. Fig. 244. Fig. 245.



Herschel's Doublets.

Herschel fand, dass mit einem solchergestalt eingerichteten Doublet, dessen Brennweite 1,84 engl. Zoll betrug, Objecte, die um 40° von der Axe entfernt liegen, noch gleich deutlich gesehen werden können, wenn das Sehfeld sich bis zu 75° über die Axe hinaus erstreckt. Zu Lupen würde daher ein solches Doublet gewiss ganz brauchbar sein.

Herschel hat noch eine dritte Vereinigungsweise der beiden Linsen vorgeschlagen (Fig. 245), die in der Hauptsache mit derjenigen übereinstimmt, deren sich der vorher genannte Eustachio Divini schon vor fast 200 Jahren bedient hatte: man lässt nämlich zwei planconvexe Linsen mit den gewölbten Oberflächen an einander stossen. Bestehen die Linsen aus gewöhnlichem Glase und haben sie gleiche Krümmung, dann beträgt die Aberration nach der Berechnung nur 0,6028 jener Aberration, die bei einer Linse von der besten Form stattfindet. Nimmt man dagegen, wie in Fig. 245, zwei planconvexe Linsen, deren Brennweiten sich wie 1 : 2,3 zu einander verhalten, dann beträgt die Aberration nur noch 0,2481.

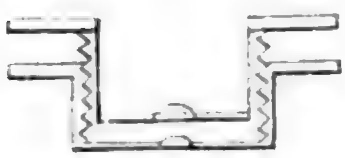
Wie verdienstlich aber auch diese Bestrebungen Herschel's waren, wie richtig seine theoretischen Ansichten und die darauf sich stützenden Berechnungen, sie haben nur wenig zur wirklichen Verbesserung des Mi-

kroskops beigetragen, weil sich in der praktischen Ausführung Schwierigkeiten entgegenstellen. Denn es fällt gar schwer, sehr kleine Linsen, wie sie für das einfache Mikroskop bei nur etwas bedeutenden Vergrösserungen gefordert werden, genau mit den im Voraus berechneten Krümmungen zu schleifen.

Glücklicher war hierin Wollaston; ihm gehört das Verdienst, eine solche Einrichtung der Doublets gelehrt zu haben, die sich zu einer praktischen Benutzung weit mehr eignet, da es nicht sowohl auf eine ganz genaue Form ankommt, als vielmehr auf ihren relativen Abstand, den doch der Mechanikus weit eher in seiner Gewalt hat; denn er kann ja diesen Abstand so lange ändern, bis er durch den Versuch jene Vereinigung der Linsen festgestellt hat, bei welcher die entschiedenste Wirkung herauskommt. Es war Wollaston's letzte wissenschaftliche Arbeit; einen Monat, nachdem dieselbe (*Phil. Transact.* 1829, p. 9) erschienen war, starb der ausgezeichnete Mann.

Wollaston giebt selbst an, dass er auf die Idee seiner Doublets durch die Betrachtung des Huygens'schen Oculars für Teleskope kam, welches, wenn es umgekehrt wird, ein Mikroskop bildet. Die zuerst nach Wollaston's Vorschrift verfertigten Doublets (Fig. 246) bestanden aus zwei planconvexen Linsen, in besondere Röhrchen gefasst, die schraubenförmig in einander greifen, so dass man einfach und bequem die Entfernung ermitteln kann, bei welcher das Bild am hellsten und schärfsten erscheint. Die Brennweite der untern Linse sollte sich nach ihm zu jener der obern dem Auge zugekehrten verhalten wie 1 : 3; auch wollte er gefunden haben, die Entfernung ihrer platten Oberflächen betrage am besten 1,4 bis 1,5 der Brennweite der kleinern Linse.

Fig. 246.

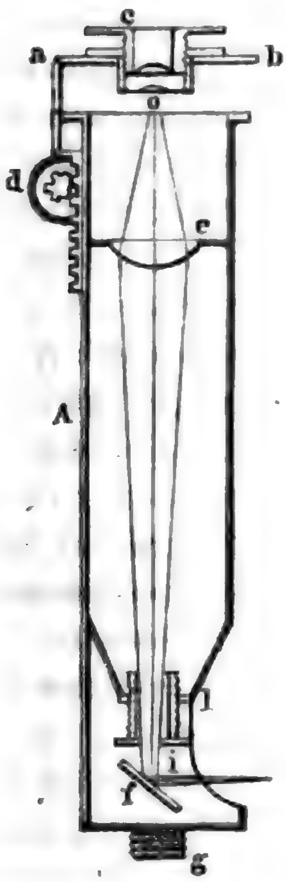


Wollaston's Doublet.

Wollaston beschrieb ferner ein Mikroskopgestell von eigenthümlicher Form und Einrichtung, wobei der Hauptzweck dahin ging, den durch seine Doublets betrachteten Objecten eine bessere Beleuchtung zu geben. Ich werde später, bei den Beleuchtungsapparaten, auf diese Einrichtung weiter zurückkommen; sie hat den Grund gelegt zu mancherlei später hierin vorgenommenen Verbesserungen. Ich gebe aber hier ihre Beschreibung, die durch Fig. 247 erläutert wird. *A* ist ein messingenes Rohr, ungefähr 6 Zoll lang und 1 Zoll oder mehr breit; durch die Schraube *g* kann es auf das Kästchen befestigt werden, worin das Instrument, wenn es nicht gebraucht wird, zu liegen kommt. Bei *l* hat das Rohr eine grosse Oeffnung, durch welche das Licht auf den Spiegel *f* fallen kann. Ueber diesem Spiegel ist bei *i* ein Diaphragma angebracht, um die äussersten Strahlen abzuschneiden, welche vom Spiegel reflectirt werden. Am obern Ende des Rohrs befindet sich bei *e* eine planconvexe Linse, mit einer Brennweite von etwa $^3/_4$ Zoll, deren gerade Fläche nach oben sieht. Die vom Spiegel reflectirten Strahlen werden durch diese

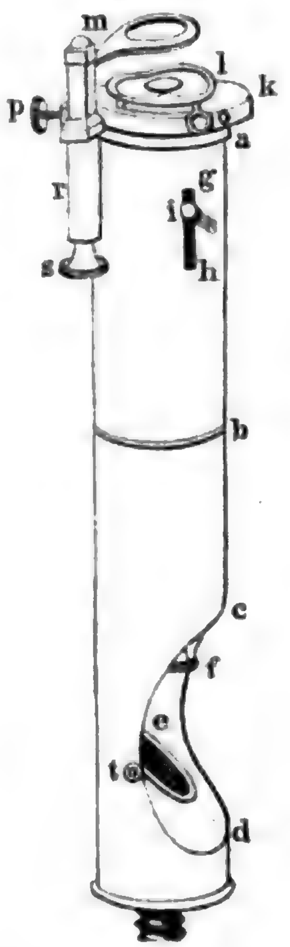
Linse in *o* vereinigt, wo die Platte, welche das Rohr oben schliesst und welche als Objecttisch dient, eine Oeffnung besitzt. Bei *d* befindet sich ein gezahntes Rad mit einem Triebe, woran der doppelt gebogene Arm *ab* befestigt ist; in diesen aber kommt das Doublet *c*, welches durch Umdrehen des Knopfes *d* höher oder niedriger gestellt werden kann.

Fig. 247.



Wollaston's einfaches Mikroskop.

Fig. 248.



Wollaston's einfaches Mikroskop nach Dollond.

Spätere Mechaniker haben einige Veränderungen an dieser Einrichtung vorgenommen; dahin gehört das in Fig. 248 dargestellte, von Dollond herrührende Mikroskop. Der Trieb ist hier durch eine feine Schraube ersetzt, deren geränderter Knopf bei *s* sichtbar ist. Der Objecttisch *l* lässt sich in verschiedenen Richtungen bewegen durch zwei Schrauben *p* und *o*, die um 90° von einander abstehen. Ferner steckt bei diesem Mikroskope die Beleuchtungslinse in einem kurzen Röhrchen, welches in dem grössern Rohre auf- und niederbewegt werden kann, mittelst zweier kleiner Knöpfe, die durch zwei schlitzförmige Oeffnungen aus dem Rohre hervorragen. Einen dieser Knöpfe *i* sieht man bei *gh*. Der Zweck dabei ist, die Linse dem Objecte näher zu bringen oder weiter davon zu entfernen, und so die Beleuchtung zu verstärken oder zu mässigen. Man muss aber zugeben, dass diese Beweglichkeit der Linse nicht im ursprünglichen Plane Wollaston's lag; er wollte das Object immer gerade im Brennpunkte der Linse haben *).

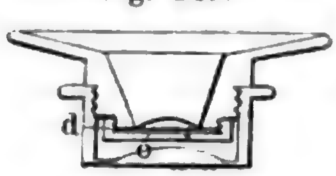
Die von Wollaston erfundenen Doublets hatten sich bald eines grossen Beifalls zu erfreuen, und es wurden einige Verbesserungen damit vorgenommen; namentlich Pritchard und Chevalier erwarben sich hierin Verdienste. Pritchard beobachtete, dass bei jener Entfernung beider Linsen von einander, welche Wollaston angegeben hatte, das

*) Das Mikroskop, welches ich seit einer Reihe von Jahren mit den oben (S. 611) beschriebenen Glaskügelchen benutzt habe, besitzt auch eine solche Einrichtung. Nur ist die Beleuchtungslinse bei weitem grösser, das Rohr daher weiter, und unter dem Objecttische befindet sich ausserdem noch ein bewegliches Diaphragma. S. *Bulletin des Sc. phys. et natur.* 1839.

Bild keineswegs das Maximum von Schärfe und Helligkeit besitzt; er kam zu dem Schlusse, diese Entfernung müsse gleich sein der Differenz zwischen den Brennweiten beider Linsen, mit Berücksichtigung jedoch ihrer Dicke. Er fand ferner, dass das Verhältniss zwischen den Brennweiten der beiden Linsen nicht gerade 1 : 3 sein müsse, sondern sehr variiren könne. Das einzige Erforderniss sei, dass die Differenz mehr beträgt als die Dicke der vordern Linse, damit, zumal bei starken Vergrösserungen, der Focus des ganzen Systems um so weiter von der untern Linse entfernt ist, je grösser die Differenz zwischen den Brennweiten der einzelnen Linsen ist. Das ist aber sehr wichtig für die praktische Benutzung der Doublets. Pritchard glaubt daher, das Verhältniss dürfe nie unter 1 : 3 fallen; er hat aber mehrere ganz gute gemacht mit dem Verhältniss von 1 : 6. Er brachte endlich auch ein Diaphragma zwischen die beiden Linsen, und es befindet sich dieses nach ihm am besten gleich oberhalb der untern Linse. Es versteht sich aber von selbst, dass ein solches Doublet ganz sorgfältig centrirt sein muss, da, wenn die beste Stellung der Linsen einmal ermittelt worden ist, diese unveränderlich darin festgestellt werden müssen. Pritchard versichert jedoch, dass manchmal ganze Tage nöthig sein können, um ein Doublet, welches auseinandergenommen wurde, wiederum in Ordnung zu bringen.

Chevalier versah seine Doublets (Fig. 249) ebenfalls mit einem Diaphragma *d*, dessen Oeffnung bei *o* sichtbar ist. Seine Einrichtung unterscheidet sich aber von der ursprünglich Wollaston'schen und von der Pritchard'schen darin, dass er zwei planconvexe Linsen von gleicher Brennweite nimmt, von denen jedoch die obere merklich kleiner ist als die untere dem Objecte zugewendete. Seine Absicht hierbei ist, die Linsen einander näher zu bringen, damit das ganze System eine geringere Dicke hat und zugleich auch mehr Helligkeit verschafft; auch wird überdies dadurch der Raum zwischen dem Objecte und der untersten Linse des Doublets grösser.

Fig. 249.

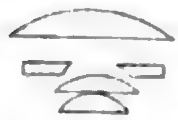


Chevalier's Doublet.

Pritchard sowohl wie Chevalier haben auch Triplets für das einfache Mikroskop verfertigt. Ihrer Einrichtung liegt das nämliche Princip zu Grunde, wie jener der Doublets; ihre Ausführung erfordert aber natürlich noch mehr Sorgfalt, die aber auch durch die grössere Schärfe belohnt wird, mit welcher schwere Probeobjecte hervortreten.

Bei den Pritchard'schen Triplets hat die dritte oder unterste Linse einen längern Focus als die beiden anderen, und sie befindet sich auch in einiger Entfernung von diesen.

Fig. 250.



Holland's Triplet.

Später empfahl Holland (*Transactions of the Society of Arts.* 1832. Vol. 49) eine andere Einrichtung, welche sehr gerühmt wird (Fig. 250). Es sind nämlich drei planconvexe Linsen, von denen die beiden ersteren sich berühren, während ein Diaphragma zwischen ihnen und der obern

Linse befindlich ist. Ein solches Triplet soll ein Strahlenbüschel von 65° mit vollkommener Schärfe durchlassen.

Dass ein Doublet oder Triplet vor einer einfachen gleich stark vergrössernden Linse wirklich den Vorzug verdient, mag aus der folgenden Parallele erhellen.

Zu einem einfachen Taschenmikroskope von Dollond gehören vier biconvexe Linsen mit folgenden Vergrösserungen: Nr. 1. 77 Male, Nr. 2. 185 Male, Nr. 3. 331 Male, Nr. 4. 480 Male*). Ich benutzte ein Nobert'sches Täfelchen als Object, und fand, dass unter den günstigsten Umständen durch Nr. 1. keine der Gruppen als Striche sich erkennen liess, durch Nr. 2. die Striche der vierten Gruppe zu erkennen waren, durch Nr. 3. die der fünften Gruppe, und durch Nr. 4. kam man auch zu keiner höhern Gruppe.

Zwei Pritchard'sche Doublets, welche 240 Male und 312 Male vergrösserten, zeigten an dem nämlichen Nobert'schen Täfelchen Folgendes: Mit dem ersten waren die Striche der fünften Gruppe zu unterscheiden und mit dem zweiten jene der sechsten Gruppe.

Mit einem Chevalier'schen Doublet, das nur 48 Male vergrösserte, waren die Striche der ersten Gruppe erkennbar, und mit einem andern, welches 317 Male vergrösserte, die Striche der sechsten Gruppe. Dagegen konnte ich mit einem Triplet von Chevalier, welches 387 Male vergrösserte, nur die Striche der fünften Gruppe wahrnehmen, woran vielleicht eine nicht ganz genaue Centrirung Schuld sein mag.

Ein Uebelstand kommt bei den Doublets und noch mehr bei den Triplets vor, das ist die geringe Entfernung der untern Linse vom Objecte, die natürlich, auch unter den günstigsten Umständen, immer kleiner ausfällt, als wenn eine einzelne Linse von gleichem Vergrösserungsvermögen genommen wird. Bei starken Vergrösserungen muss man deshalb sehr dünne Glas- oder Glimmerblättchen als Deckplättchen nehmen. Bei schwächeren Vergrösserungen, wie sie zur Zergliederung auf dem Objecttische benutzt werden, hat aber Chevalier (a. a. O. S. 38) eine eigene Einrichtung erfunden: er bringt nämlich eine achromatische concave Linse oberhalb des Doublets an. Je grösser der Abstand ist, um so bedeutender ist die Vergrösserung, und so wird der Zwischenraum

---

*) Dies ist die stärkste geschliffene Glaslinse, die ich in Händen gehabt habe. Es sind aber allerdings noch stärkere verfertigt worden. Fontana (*Traité sur le venin de la vipère.* p. 288) benutzte zur Untersuchung des Muskelgewebes eine Linse mit $\frac{1}{90}$ Zoll Brennweite: dies giebt für 8 Zoll Sehweite eine 720malige, für 25 Centimeter Sehweite eine 825malige Vergrösserung. Diese Linse soll aber noch durch die Linsen von Gould (Schuhmacher's Astronom. Nachrichten. VIII. S. 104) übertroffen werden, deren stärkste nicht weniger als 1100 Male im Durchmesser vergrössern soll. Es ist aber nicht mit angegeben, für welche Sehweite diese Vergrösserung berechnet ist, und wiederholt habe ich mich davon überzeugt, dass man sich hierin nicht immer auf die Angaben der Instrumentenmacher verlassen darf.

merklich grösser als wenn blos ein Doublet benutzt wird. Chevalier empfiehlt diese Einrichtung nicht blos bei dem zu Zergliederungen bestimmten Mikroskope, die Augenärzte sollen sie auch zur Untersuchung von Augenkrankheiten benutzen. — Wir werden alsbald sehen, dass die späterhin von Brücke für den gleichen Zweck empfohlene Lupe auf dem nämlichen Principe beruht.

Ich habe noch einer andern Anwendungsweise zu gedenken, wozu Chevalier (*Comptes rendus* 1841. 8. Mars) seine Doublets benutzt haben will. Er bringt nämlich ein kurzes Röhrchen oder einen Ring daran und davor ein gerades Glastäfelchen, dessen Aussenfläche sich gerade in der Brennweite der Linse befindet, so dass darauf liegende Objecte mit Schärfe gesehen werden können; damit aber der kleine Apparat auch für Augen von verschiedener Sehweite passe, ist der Ring mit dem Glastäfelchen beweglich. Diese Einrichtung soll die Stanhope'sche Linse (S. 622) ersetzen, vor der sie auch in mehrfacher Hinsicht den Vorzug verdient, nämlich durch grössere Schärfe und Helligkeit, dass man sie ferner stärker vergrössernd machen kann als diese, und auch noch dadurch, dass sie dem verschiedenartigen Accommodationszustande des Auges entspricht. Nur in untergeordneten Punkten steht sie nach: sie hat ein kleineres Gesichtsfeld als die Stanhope'sche Linse und sie kostet natürlich auch mehr als dieses einfachere Instrument.

406 Wir kommen nun auf eine andere Reihe von Versuchen, die der Zeit nach zum Theil mit den vorhergehenden zusammenfallen und darauf ausgingen, das einfache Mikroskop dadurch zu verbessern, dass man zur Herstellung von Linsen andere Substanzen als Glas nahm.

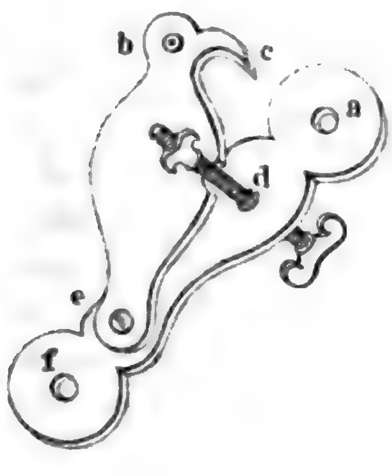
Zunächst sind hier jene Körper zu nennen, die sich leichter in die Linsenform bringen lassen als das schwer zu bearbeitende Glas.

Bereits im Jahre 1655 machte Petrus Borellus (*De vero Telescopii inventore.* Lib. II. p. 51) den Vorschlag, eine Auflösung von Fischleim dazu zu nehmen, der in kleine Aushöhlungen gegossen werden sollte, wo er beim Erkalten die linsenförmige Gestalt bekäme; solche Fischleimlinsen, meinte er, müssten selbst noch Grösseres leisten als Glaslinsen, „weil sie mit den Geweben und den Flüssigkeiten des Auges besser übereinstimmten“. Seinen Vorschlag scheint er übrigens nicht in Ausführung gebracht zu haben, oder es würde ihm doch bald die Schwäche dieses Grundes entgegen getreten sein.

Am Ende des 17. Jahrhunderts ersann Stephen Gray (*Phil. Transactions* 1696. Nr. 221. p. 280) einen kleinen Apparat, mit dessen Hülfe ein kleiner Wassertropfen die Stelle einer Glaslinse oder eines kleinen Glaskügelchens vertreten sollte. Dieses Wassermikroskop (Fig. 251) hatte folgende Einrichtung. Zwei Metallplatten, *af* und *be*, waren durch eine Schraube *e* so verbunden, dass sich die Platte *eb* um dieselbe wie um einen Mittelpunkt drehte. So konnte bald die Spitze *c* mit daran befestigten undurchsichtigen Körpern, bald die runde Oeffnung *b*, in welche

eine Flüssigkeit gebracht werden konnte, vor die Oeffnung *a* kommen. In diese Oeffnung *a*, die etwa $1/_{30}$ Zoll gross war, wurde mit einer Nadelspitze ein Wassertropfen gebracht, der darin die Kugelgestalt annahm und als Vergrösserungslinse wirkte. Die beiden Platten wurden einander durch die Schraube *d* genähert.

Fig. 251.



Gray's Wassermikroskop.

Dieses Wassermikroskop von Gray scheint damals viel Beifall gefunden zu haben; wenigstens findet man bei Zahn (*Oculus artificialis.* Ed. 2. p. 750) und bei Bion (Mathematische Werkschule. 3. Aufl. 1726. S. 43) noch andere zu gleichem Zwecke zu benutzende kleine Apparate beschrieben, die ich indessen als unbedeutend mit Stillschweigen übergehe. Gray selbst (*Philos. Transact.* 1697. p. 540) hat statt Wasser auch ein Fischleimdecoct genommen.

Die Vergrösserung, welche man durch gewölbte Wasseroberflächen erzielen kann, suchte Gray auch noch auf eine andere Weise nutzbar zu machen. In eine Messingplatte von etwa $1/_{16}$ Zoll Dicke wurde ein kleines Loch gebohrt, das noch nicht $1/_{20}$ Zoll Durchmesser hatte. In diese cylindrische Höhle brachte er Wasser, worin sich Infusorien befanden, so dass dasselbe zu beiden Seiten kugelförmig über den Rand der Oeffnung hervorragte. Er hatte so eine kleine Cylinderlinse aus Wasser, deren Brennpunkt im Cylinder selbst lag; daher alle Objecte, die sich in dieser Entfernung im Wasser befanden, stark vergrössert gesehen wurden.

In neuerer Zeit hat Brewster (*New philos. Instruments.* 1819. p. 413 und *Treatise on the microscope.* 1837. p. 25) zu dem nämlichen Zwecke noch andere Flüssigkeiten benutzt, die ein stärkeres Brechungsvermögen besitzen und weniger flüssig sind, nämlich Schwefelsäure, Ricinusöl, Bernsteinöl, Terpentinfirniss, Copaivabalsam und Canadabalsam. Letzterer bewährte sich hierbei am besten. Mit der Spitze einer Nadel oder mittelst eines Haares brachte er einen kleinen Tropfen der einen oder der andern dieser Flüssigkeiten auf die Unterfläche eines geraden Glastäfelchens, das vorher mit einer Natronsolution gereinigt worden war, und bekam so eine planconvexe Linse. Eine biconvexe erhielt er, wenn er auch auf die obere Fläche ein solches Tröpfchen brachte. Er will auf solchem Wege Linsen bekommen haben, die zu klein waren, als dass man sie noch mit blossem Auge sehen konnte. Auch grössere Linsen mit einer fast hyperbolischen Krümmung will er auf diese Weise erhalten haben. Einige davon blieben länger als ein Jahr hindurch benutzbar, und er meint, dass sie es noch länger geblieben sein würden, wenn der Staub abgehalten worden wäre.

Dass auf solche Weise zu vorübergehendem Gebrauche ziemlich gute Linsen sich herstellen lassen, kann ich bestätigen. Am besten nimmt man dazu eines von den dünnen Deckplättchen, die gegenwärtig allgemein den Mikroskopen beigegeben werden, und darauf bringt man einen kleinen Tropfen eines ziemlich dickflüssigen Canadabalsams. Es versteht sich aber von selbst, da uns so viele andere und bessere Mittel zu Gebote stehen, Objecte vergrössert zu betrachten, dass man nur selten, wenn überhaupt, zu diesem Hülfsmittel seine Zuflucht zu nehmen braucht.

Das Nämliche gilt auch von den Krystalllinsen kleiner Fische, die von Brewster ebenfalls zu Mikroskopen empfohlen worden sind. Dieselben vertrocknen sehr schnell und verlieren dadurch ihre Form und ihre Durchsichtigkeit. Ausserdem ist es aber auch sehr schwer, dieselben immer dergestalt in die Oeffnung einer Metallplatte, die in ein Linsenröhrchen gefasst ist, zu bringen, dass ihre optische Axe genau in der Sehaxe liegt. Doch hat es sich mehrmals getroffen, dass ich sehr gut durch eine solche Linse sehen konnte, und ich erinnere mich sogar nicht, jemals ein Bild mit mehr Schärfe und Klarheit gesehen zu haben, als wo ich einmal die Linse eines noch ganz jungen Aals benutzte, die nicht weniger als 536 Male im Durchmesser vergrösserte.

407 Wenn die Versuche, sich auf bequemere Weise als durch das Schleifen von Glaslinsen, einfache Mikroskope zu verschaffen, schliesslich als misslungen zu betrachten sind, so kommen wir jetzt auf eine andere Reihe von Versuchen, die bessern Erfolg gehabt haben, wenngleich auch sie jetzt als der Geschichte verfallen gelten können, nachdem die Glaslinsen selbst in späterer Zeit so ungemein verbessert worden sind. Ich meine nämlich das Verfertigen von Linsen aus Bergkrystall und aus verschiedenen Edelsteinen, wie Saphir, Granat, Rubin, Beryll, Topas und Diamant.

Aus den früher (§. 38. 41. 55. 58. 124) entwickelten theoretischen Ansichten über diesen Gegenstand hat sich ergeben, dass Linsen aus diesen verschiedenen Substanzen, namentlich aus Diamant, vor gleich stark vergrössernden Glaslinsen wegen ihrer auffallend geringern chromatischen und sphärischen Aberration den Vorzug haben, während sie doch bei gleichem Krümmungsgrade weit stärker vergrössern. Darüber schweige ich also jetzt, und nur von den Versuchen soll die Rede sein, die successiv gemacht worden sind, Linsen aus anderen Substanzen als aus Glas zu schleifen.

Dass schon in den allerältesten Zeiten der Bergkrystall zu linsenförmigen Stücken geschliffen worden ist, wurde oben (S. 573) angegeben. Als der erste aus neuerer Zeit ist aber hier Lippershey zu nennen, der im Jahre 1608 das Teleskop erfand, und der nach van Swinden's Untersuchungen wahrscheinlich für die von den Generalstaaten zur Untersuchung seines Instruments ernannte Commission ein Teleskop verfertigte, dessen Linsen aus Bergkrystall geschliffen waren. Zuverlässiger

ist es, dass etwas später Leeuwenhoek Linsen aus Bergkrystall geschliffen hat, wovon schon oben (S. 602) die Rede war.

Ausser diesen Beiden scheint aber Niemand andere als Glaslinsen geschliffen zu haben, bis Brewster (*New philos. Instr.* p. 403) im Jahre 1819 sich dahin aussprach, geschliffene Diamantlinsen müssten vor Glaslinsen den Vorzug verdienen, weil der Diamant nicht nur stärker strahlenbrechend ist, sondern auch zugleich eine schwächere Farbenzerstreuung bewirkt. Er konnte damals Niemand finden, der ihm eine solche Linse zu schleifen im Stande gewesen wäre. Dagegen verfertigte ihm Hill in Edinburg (*Treatise on the Microscope*, p. 14) zwei Linsen, die eine von Rubin, die andere von Granat, die in der That Glaslinsen bei weitem zu übertreffen schienen.

Im Jahre 1824 nahm Goring die erste Idee von Brewster wieder auf und theilte sie Pritchard mit. Nach vielen missglückten Versuchen (s. *Microscopic Cabinet*, p. 107) gelang es Pritchard endlich am 1. December 1824, die erste Diamantlinse herzustellen, die noch einige Unvollkommenheiten hatte. Kurz nachher konnte er aber zwei planconvexe Diamantlinsen mit einem Focus von $^1/_{20}$ und $^1/_{30}$ Zoll zu Stande bringen, die sich ganz gut fürs Mikroskop eigneten. Ausser Pritchard und Hill haben weiterhin noch Adie, Blackie und Veitch in England, Lerebours, Chevalier und Oberhäuser in Paris, Plössl in Wien Linsen aus verschiedenen Edelsteinen geschliffen.

Es ist aber nicht blos die Härte dieser Edelsteine und die im Vergleiche zum Glase schwerere Bearbeitung, die der Anfertigung solcher Linsen hinderlich ist, sondern im Besondern auch ihre krystallinische Structur. Bergkrystall, Saphir, Rubin und Topas, die zu den zweiaxigen Krystallen gehören, haben aus diesem Grunde auch eine doppelte Brechung, und es muss daher durchaus bei einer daraus geschliffenen Linse die optische Axe mit der Axe der doppelten Brechung zusammenfallen, was natürlich der Natur der Sache nach nur schwer mit vollkommener Genauigkeit zu erreichen ist. Der Granat gehört zum regelmässigen Systeme und hat keine doppelte Strahlenbrechung; bei ihm ist aber die Farbe hinderlich, die freilich bei sehr kleinen Linsen gar sehr in Ausfall kommt, das Gesichtsfeld aber doch immer noch einigermaassen verdüstert. Der Diamant endlich gehört auch zu den gleichaxigen Krystallen; dessenungeachtet hat man mit einzelnen daraus geschliffenen Linsen zwei oder drei Bilder beobachtet, die sich zum Theil deckten, und dadurch war eine solche Diamantlinse ganz unbrauchbar. Der Ursache dieser auf den ersten Blick räthselhaften Erscheinung hat Brewster (*Treatise* p. 18. *Edinb. phil. Transact.* VIII, p. 157. *Philos. Magaz.* VII, p. 245) näher nachgeforscht. Er fand, dass viele Diamanten aus über einander liegenden Schichten von verschiedenem Brechungsvermögen zusammengesetzt sind. Wenn daher diese Schichten mit der Axe der Linse ziemlich parallel verlaufen, so kann es nicht anders kommen, als dass man durch die Linse eben so viele Bilder sieht, als besondere Schichten vorhanden

sind. Ist dagegen die Linse so geschliffen, dass ihre optische Axe senkrecht auf diesen Schichten steht, dann wird deren verschiedenes Brechungsvermögen ohne Einfluss sein und es wird blos ein einfaches Bild erscheinen.

Da nun die Anfertigung einer Diamantlinse, selbst abgesehen von der Kostbarkeit des Materials, viel Zeit und Mühe erfordert, so ist es wichtig, dass man vor dem Schleifen das Vorhandensein und die Richtung dieser Schichten kennt. Das beste Mittel hierzu ist dieses, dass man erst zwei Flächen auf den Stein schleift und dann in einem verdunkelten Zimmer einen durch eine enge Oeffnung des Fensterladens eindringenden Sonnenstrahl darauf fallen lässt. Die Schichten und deren Richtung erkennt man dann an der verschiedenen Reflexion der Strahlen. Brewster empfiehlt auch noch ein anderes Mittel: man soll nämlich den Diamant in ein mit Zimmtöl gefülltes Glasgefäss legen. Wegen des starken Brechungsvermögens dieser Flüssigkeit werden alle Brechungen an den unregelmässigen Oberflächen des Diamants weit schwächer; dieser wird daher gleichsam durchscheinend, und man sieht alle seine inneren Unvollkommenheiten eben so gut, als man die bekannten Streifen des Flintglases wahrnimmt.

Da die Herstellung von Edelsteinlinsen so mühevoll und beschwerlich ist, so sind sie auch ziemlich theuer, wie man aus folgendem Pritchard'schen Preiscourant vom Jahre 1829 (Schuhmacher's Astronomische Nachrichten. 1829. IX, S. 51) ersieht. Für die Vergrösserung sind 10 Engl. Zoll Sehweite angenommen.

Saphirlinsen.

Brennweite.	Vergrösserung.	Preis einer Linse.	
Engl. Zoll.		Pfd. Strl.	Schill.
1/10	100	2	2
1/20	200		
1/30	300		
1/40	400		
1/50	500	3	3
1/60	600		
1/80	800	4	4
1/100	1000	5	5

Die einzelne Diamantlinse kostet 10 bis 20 Pfd. Strl.

Plössl (Schuhmacher's Astronom. Nachrichten IX, S. 390) hatte bald nachher folgende Preise:

Eine Diamantlinse,	Vergrösserung	300	. . .	150 Gulden,
Eine Saphirlinse,	„ „	400	. . .	20 „
Linsen von Beryll, Topas u. Bergkrystall,	„ „	200-300	.	10 „

Chevalier (Die Mikroskope u. s w. S. 33) sagt: eine gute Diamantlinse würde 500 Francs kosten; oder richtiger, es liesse sich kein fester Preis dafür angeben. In seinem Preiscourante von 1842 giebt er 150 Francs und darüber an.

Fragt man nun die Erfahrung, so werden diese höheren Kosten keineswegs durch die höheren Leistungen dieser Linsen aufgewogen, zumal nachdem das zusammengesetzte Mikroskop so bedeutende Verbesserungen erfahren hat und um einen mässigen Preis zu bekommen ist. Ich habe niemals Gelegenheit gehabt, Diamantlinsen zu prüfen, und will mich auf das Zeugniss von Goring und Brewster verlassen, dass diese Linsen, wenn sie gut gerathen sind, sich durch grosse Helligkeit und Schärfe auszeichnen. Da aber noch nie eine damit ausgeführte Beobachtung mitgetheilt worden ist, die man nicht eben so gut mit einem aplanatischen zusammengesetzten Mikroskope oder selbst mit einem guten Doublet hätte ausführen können, so muss ich es sehr bezweifeln, dass die grossen davon gehegten Erwartungen sich verwirklichen.

Eine von Pritchard verfertigte, 5 Pfd. 5 Sch. kostende Saphirlinse befindet sich in dem Utrechter physikalischen Cabinet. Sie giebt für 25 Centimeter Sehweite eine 990malige Vergrösserung. In das oben (S. 627) beschriebene Wollaston'sche Mikroskop eingesetzt, gelang es mir, damit die sechste Gruppe auf dem Nobert'schen Täfelchen recht gut zu erkennen, und selbst in der siebenten Gruppe waren die Striche guten Theils zu unterscheiden. Die Doublets und einfachen Linsen, deren optisches Vermögen ich vorhin (S. 625) besprochen habe, lassen sich nicht mit dieser Linse vergleichen, weil sie ihr alle in der Vergrösserung nachstehen; dagegen hat eins von den Glaskügelchen, von denen S. 613 die Rede war, ein fast gleich ansehnliches Vergrösserungsvermögen. Mit diesem Glaskügelchen nun, dessen Herstellung nicht mehr als ein paar Minuten Zeit erforderte, wurde die siebente Gruppe fast gleich deutlich gesehen als die sechste Gruppe mit der kostbaren Saphirlinse! Es lässt sich dies nur so erklären, dass man annimmt, ein solches Glaskügelchen besitze wahrscheinlich eine hyperbolische Form. Aber soviel ersieht man zur Genüge daraus, dass Edelsteinlinsen jetzt ein ganz überflüssiger Luxus geworden sind. Solches wird auch dadurch bestätigt, dass man in England, wo zuerst an ihre Anfertigung gedacht wurde, die Sache hat wieder fallen lassen. Quekett sagt wenigstens in seinem 1848 erschienenen Buche, man habe die Idee mit den Edelsteinlinsen jetzt ganz aufgegeben.

Dass auch Doublets und Triplets aus verschiedenen Edelsteinen sich eben so gut zusammensetzen lassen, als aus Glas, das versteht sich

von selbst, und natürlich haben solche Vereinigungen auch den Vorzug vor einzelnen Linsen. Pritchard sowohl als Blackie haben dergleichen gearbeitet, die von Brewster (*Treatise*, p. 52) sehr gerühmt werden.

408 Wir würden jetzt an die Geschichte der wichtigsten Verbesserung kommen, die in der neuern Zeit am optischen Theile der Mikroskope stattgefunden hat, nämlich an das Achromatisiren der Linsen durch die Vereinigung zweier Glassorten, die ein ungleiches Vermögen der Lichtbrechung und der Farbenzerstreuung besitzen. Da indessen der Einfluss dieser Verbesserung vorzugsweise am zusammengesetzten Mikroskope sich geltend gemacht hat, so will ich diesen Gegenstand lieber auf den folgenden Abschnitt versparen, und hier nur noch von den mancherlei mechanischen Vorrichtungen handeln, die gegenwärtig in Gebrauch sind, um Linsen und Linsensysteme praktisch verwendbar zu machen.

Bekanntlich theilt man diese Vorrichtungen im Allgemeinen ein in Lupen und in eigentlich sogenannte einfache Mikroskope. Es braucht wohl kaum bemerkt zu werden, dass dies eigentlich eine willkürliche Eintheilung ist, insofern sich keine scharfe Grenze zwischen den beiden Klassen von Instrumenten ziehen lässt. Sie gründet sich aber auf die praktische Benutzung der Linsen als Vergrösserungsgläser, und deshalb mag sie auch hier beibehalten werden.

Lupen sind im Allgemeinen einfacher eingerichtete Instrumente, die keinen eigentlichen Objecttisch haben, nur 4 bis 20 Mal vergrössern und deshalb auch keines genauen Bewegungsapparates bedürfen, wodurch das Object der Linse mehr oder weniger genähert wird.

Einfache Mikroskope im engern Sinne sind jene Instrumente, bei denen man nicht blos Linsen oder Linsensysteme von schwacher Vergrösserung, wie bei den Lupen, sondern auch viel stärker vergrössernde benutzen kann, daher ein besonderer Objecttisch, ein darunter befindlicher Spiegel für durchfallendes Licht nöthig ist, sowie eine passende Bewegungseinrichtung, um die richtige Entfernung zwischen Object und Linse finden zu können.

Die Lupen sowohl als die einfachen Mikroskope können dann noch auf sehr verschiedene Art eingerichtet sein, entsprechend dem Zwecke, wofür das Instrument bestimmt ist, und es ist auch sehr schwierig, wenn nicht vielleicht geradezu unmöglich, ein solches Instrument dergestalt einzurichten, dass es allen Anforderungen entspricht. In der Regel muss der eine Vortheil mehr oder weniger aufgeopfert werden, um einen andern desto eher zu erreichen.

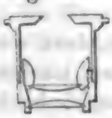
Was nun zuvörderst die Linsen für Lupen betrifft, so folgt aus demjenigen, was früher (§. 48 und folgende) hierüber gesagt worden ist, dass die am meisten gebräuchlichen Linsen, nämlich die biconvexen mit gleicher Krümmung beider Flächen, als die schlechtesten zu betrachten sind, wegen der starken sphärischen Aberration, die bei ihnen vorkommt.

Viel besser ist eine Linse von der besten Form, wo sich die Krümmungen wie 1 : 6 zu einander verhalten. Aber fast gleich gut ist eine planconvexe Linse, die sich begreiflicher Weise auch leichter herstellen lässt und deshalb wohlfeiler ist. Eine solche planconvexe Linse hat aber auch noch einen andern Vorzug. Kehrt man ihre gewölbte Fläche dem Auge zu, so dass die gerade Fläche dem Objecte entspricht, dann ist die Aberration am kleinsten; wird sie umgekehrt gehalten, dann ist das Gesichtsfeld weit grösser, es ist aber auch die Aberration am grössten. Die letztere Stellung passt daher, wenn man sich eine allgemeine Uebersicht von einem Objecte verschaffen will, die erstere dagegen eignet sich besser zur genauern Erforschung der Einzelnheiten, wenn z. B. Zergliederungen vorgenommen werden.

Wo es blos darauf ankommt, die Objecte in einem ziemlich grossen Gesichtsfelde scharf zu sehen, da sind auch die Coddington'schen Lupen oder die Vogelaugenlinsen (S. 622) ganz brauchbar. Zu Zergliederungen passen sie jedoch nicht, weil das Object der Glasoberfläche viel zu nahe kommt, und das Nämliche gilt auch von den Cylinderlupen. Diese wie die Coddington'schen Lupen lassen sich aber gut benutzen, um Objecte unter Wasser zu untersuchen, da sie ohne Nachtheil in dieses getaucht werden können.

Die Lupen brauchen aber nicht immer blos eine einzige Linse zu enthalten; sie können auch aus zwei oder drei Linsen bestehen, wo sie dann die mehrfach erwähnten Vorzüge der Doublets und Triplets besitzen können. Meistens jedoch tritt es deutlich hervor, dass die Optiker dabei nur im Auge gehabt haben, eine möglichst grosse Zahl Linsen von ungleichem Vergrösserungsvermögen in einem kleinen Raume zu vereinigen, ohne darauf Bedacht zu nehmen, ihre Abstände und Krümmungen so zu reguliren, dass eine Linse die andere gehörig unterstützt, um dadurch die Aberrationen zu verbessern. Man trifft auch wohl Lupen mit zwei planconvexen Gläsern, die übereinander gebracht werden können, aber nur so, dass die platten Seiten beider Linsen einander zugekehrt sind, diese sich also in der möglichst schlechten Stellung gegen einander befinden, während doch bei solcher Stellung beider Linsen, wo die eine mit ihrer gewölbten Fläche der geraden Fläche der andern zugekehrt ist, oder wo sie beide mit ihren convexen Flächen einander zugekehrt sind, bei gleicher Vergrösserung ein weit schärferes, deutlicheres Bild entstehen würde. Noch schärfer und deutlicher wird aber dieses Bild sein, wenn die beiden Linsen nach den für Doublets im Allgemeinen aufgestellten Regeln (S. 629 u. folg.) mit einander verbunden werden und dabei zugleich die gehörige Entfernung beider Linsen von einander ins Auge gefasst wird (Fig. 252), wie bei der Frauenhofer'schen Lupe, die hier im Durchschnitte dargestellt ist.

Fig. 252.



Frauenhofer'sches Doublet.

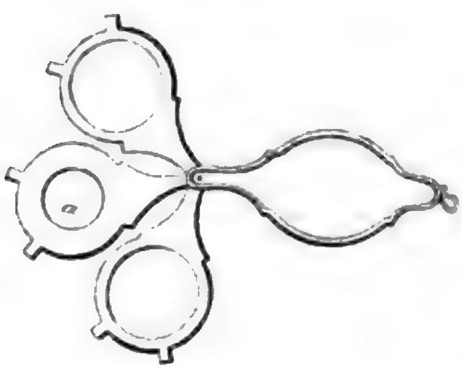
Für die meisten praktischen Zwecke, wozu man Lupen benutzt und wo nur eine schwache Vergrösserung gefordert

zu werden pflegt, sind planconvexe Linsen ganz ausreichend. Will man aber eine Lupe, die noch mehr von beiderlei Aberrationen befreit ist, dann verdienen die mit achromatischen Linsen versehenen Lupen den Vorzug, die zuerst von Plössl angefertigt wurden, und die man jetzt bei den meisten mikroskopischen Instrumentenmachern bekommt. Käme es besonders darauf an, ein ansehnlich grosses Gesichtsfeld zu haben, dann stände Herschel's periskopisches Doublet (Fig. 244, S. 625) oben an.

409 Die Art und Weise, wie eine Linse oder eine Vereinigung von Linsen zu einer Lupe gefasst ist, erscheint auch nicht gleichgültig; es kommt mit darauf an, wozu die Lupe bestimmt ist. Soll ein grosser Theil des Objects auf einmal übersehen werden, dann darf die Hülse, welche die Linse umgiebt, wenig oder gar nicht über diese hervorragen, damit das Auge dicht an die Linse gebracht werden kann. Sollen dagegen hauptsächlich die in der Mitte des Gesichtsfeldes liegenden Objecte oder Theile desselben genau gesehen werden, dann ist es besser, wenn, wie in Fig. 252, die Linse oder das Linsensystem an den Grund einer kurzen Kapsel kommt, deren Deckel mit einer Oeffnung für das Auge versehen ist.

Für Sacklupen ist die gewöhnlichste und gewiss auch zumeist empfehlenswerthe Form jene, wie in Fig. 253, die aber noch auf verschiedene Art modificirt werden kann, und wo 1, 2, 3, 4 oder selbst noch mehr Linsen angebracht sein können. Eine solche Sacklupe oder Taschenlupe gehört zu den nützlichsten, ja zu den unentbehrlichen Instrumenten jedes Naturforschers, und deshalb wird es nicht am unrechten Orte sein, wenn ich hier etwas über ihre beste Einrichtung angebe, zumal die Erfahrung lehrt, dass die so ganz einfachen Principien, auf denen die Zusammensetzung dieses kleinen Apparats beruht, gleichwohl von vielen nicht verstanden oder doch nicht in Anwendung gebracht werden. Ohne indessen das bereits Besprochene über die verschiedenen Formen der Linsen und deren hier zu wählende Combinationen zu wiederholen, will ich lieber als Muster die Maasse und die Brennweiten der Linsen einer Sacklupe angeben, die, wenn auch nicht allen, so doch den meisten Zwecken, wozu ein solches Instrument benutzt wird, vollkommen genügt.

Fig. 253.



Taschenlupe.

Die beiden Linsen sollen planconvex sein und so stehen, dass, wenn sie zusammen benutzt werden, die Convexität der kleinern, am stärksten vergrössernden Linse der geraden Fläche der andern Linse zugekehrt ist. Die schwächere Linse soll 50 Millimeter Brennweite und eine Oeffnung von 25 Millimeter haben; sie vergrössert dann 6 Mal im Durchmesser. Die stärkere Linse kann 15 Millimeter Oeffnung und 25 Millimeter Brenn-

weite haben, wo sie dann 11 Mal vergrössert. Werden nun diese Linsen so gefasst, dass ihre optischen Mittelpunkte, wenn sie übereinander sich befinden, 5 Millimeter von einander abstehen, dann hat die Combination 18 Millimeter Brennweite und sie vergrössert 15 Mal. Wünscht man übrigens für einen bestimmten Zweck schwächere oder stärkere Combinationen, so lassen sich die Brennweiten der erforderlichen Linsen nach den früher (§. 112, 113, 125) entwickelten Gesetzen berechnen. Das in Fig. 253 bei *a* abgebildete Diaphragma kommt, wenn die Lupe als Doublet gebraucht wird, zwischen die beiden Linsen: die Oeffnung kann für die eben beschriebenen Linsen 5 Millimeter im Durchmesser haben.

Ob zur übrigen Fassung der Lupe Metall, Schildpatt, Elfenbein oder Horn genommen wird, das ist ziemlich gleichgültig. Beim Ankaufe einer Lupe muss aber noch auf zwei Punkte geachtet werden, einmal nämlich, ob die Linsen so über einander gebracht werden können, dass ihre optischen Axen zusammenfallen, und zweitens, ob die Linsen in ihren Hülsen gehörig befestigt sind. Bei vielen im Handel vorkommenden Sacklupen, die eine hörnerne Hülse haben, werden die Linsen auch durch Hornringe gehalten, die in die Oeffnung eingeleimt sind. Trägt man nun ein solches Instrument in der Tasche, so geschieht es in Folge der Hautausdünstung und wegen der Hygroskopicität des Horns und des Leims alsbald, dass der Ring locker wird und die Linse herausfällt. Elfenbeinringe sind deshalb besser hierzu; am besten aber sind Metallringe, aussen mit einem Schraubendraht versehen, der in die Oeffnung eingeschraubt werden kann.

Hier ist auch der Ort, von der Brücke'schen Lupe zu reden, die 410
derselbe nach einem von ihm selbst zusammengesetzten Apparate beschrieben hat (Sitzungsberichte d. K. K. Akad. zu Wien. 1851. Bd. VI, S. 554). Dieser Lupe ist das Princip zu Grunde gelegt, dass man, wenn eine concave Linse in verschiedenen Abständen über eine convexe Linse oder ein Linsensystem gebracht wird, die zu erzielende Vergrösserung innerhalb gewisser Grenzen nach Willkür erhöhen kann.

Offenbar ist es Brücke unbekannt geblieben, dass Chevalier (Die Mikroskope u. s. w. S. 38) dieses Princip schon vor vielen Jahren in Anwendung brachte, und dass er eine solche Einrichtung, bestehend aus einer achromatischen concaven Linse und einem Doublet, nicht blos beschrieben, sondern auch, ganz gleich wie Brücke, als besonders passend für die Untersuchung der Augen empfohlen hat.

Wie dem auch sei, Brücke hat seine Lupe aus den zwei achromatischen Linsen eines aplanatischen zu einem Plössl'schen Mikroskope gehörigen Oculars und aus einem gewöhnlichen concaven Glase eines Operngucker zusammengesetzt, die durch ein Rohr von 9 Centimeter Länge und 4 Centimeter Durchmesser verbunden sind. Er bekam so für 8 Par. Zoll Sehweite eine Vergrösserung von 6,6 Mal und das Auge

blieb 16,5 Centimeter von dem zu untersuchenden Gegenstande entfernt. Der Durchmesser des Gesichtsfeldes betrug 14 Millimeter.

Später hat dann Nachet solche Lupen gefertigt, welche ziemlich mit den Brücke'schen übereinstimmen. Es sind zwei in einander verschiebbare Röhren, wie bei einem gewöhnlichen kleinen Operngucker. Vorn befindet sich an dem weitern Rohre ein Doublet aus zwei planconvexen Linsen von 24 Millimeter Durchmesser, deren convexe Flächen einander zugekehrt sind und deren gemeinschaftliche Brennweite 50 Millimeter beträgt. An dem entgegengesetzten Ende der engern Röhre befindet sich eine biconcave (nicht achromatische) Linse. Beide sind 4,4 Centimeter von einander entfernt, wenn die Röhren zusammengeschoben sind, dagegen 6,7 Centimeter, wenn die innere Röhre ganz ausgezogen ist. Der Abstand des Objects von der Vorderfläche des Doublets beträgt 7,6 Centimeter. Ist die concave Linse am meisten genähert, dann beträgt die Vergrösserung das 5,6fache für 25 Centimeter, der Durchmesser des Gesichtsfeldes ist 14 Millimeter und das Auge ist 14,1 Centimeter vom Objecte abstehend. Ist dagegen das innere Rohr ganz ausgezogen, dann hat man eine neunmalige Vergrösserung, das Gesichtsfeld hat 8 Millimeter Durchmesser und der Abstand des Auges beträgt 16,2 Centimeter.

Aus diesen Daten kann man über die praktische Brauchbarkeit dieses kleinen Instruments urtheilen. In Fällen, wo man nur einen kleinen Theil eines Objects auf einmal zu übersehen braucht und wo es zugleich recht wünschenswerth ist, das Auge wie die Lupe in gehöriger Entfernung davon zu haben, verdient dasselbe vor einer gewöhnlichen gleich stark vergrössernden Lupe den Vorzug. Es passt daher ganz gut zum Untersuchen von Augen, von Exanthemen, und Brücke's Verdienst ist es, neuerdings darauf aufmerksam gemacht zu haben. Wo man jedoch unter der Lupe arbeiten muss, wie bei anatomischen Untersuchungen, da bringt dieses Instrument wenig Vortheil; denn es wird der kleine Durchmesser des Gesichtsfeldes nicht durch die grössere Entfernung des Objects aufgewogen, die ja auch bei einfachen gleich stark vergrössernden Lupen immer noch gross genug ist, dass man ohne Mühe darunter arbeiten kann.

411 Wenn die Lupe zu Zergliederungen oder zu anderen feinen Handarbeiten benutzt wird, so ist es erforderlich, sie an einem passenden Gestelle zu befestigen, so dass die Linse in gehöriger Entfernung vom Objecte festgestellt werden kann. Man hat mehrfache derartige Gestelle.

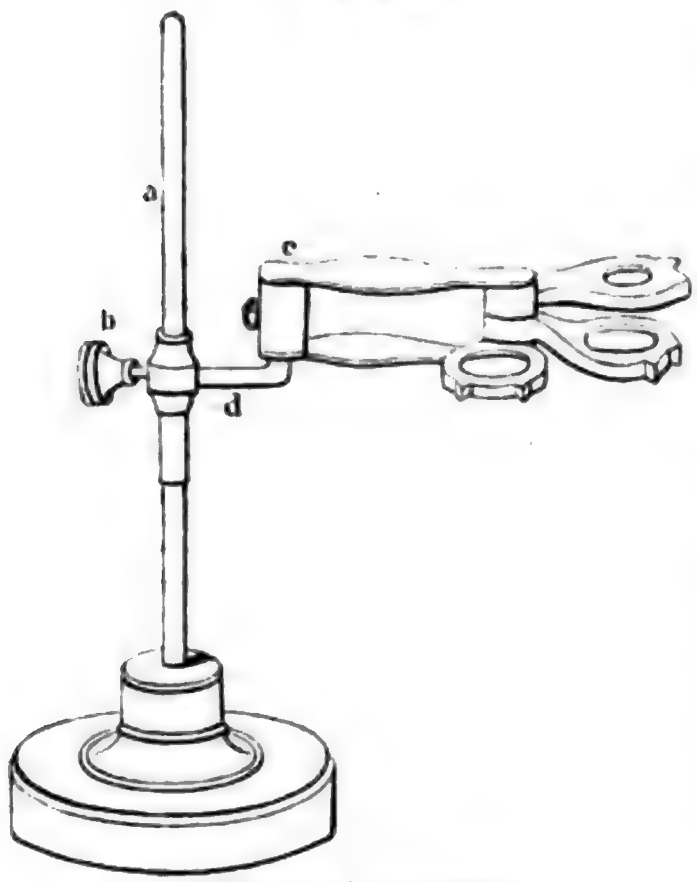
Der weiter oben (S. 616, Fig. 230) beschriebene Lupenträger Joblot's, der späterhin von Trembley etwas modificirt wurde, und den Lyonet (s. Fig. 233) mit einem besondern Objecttische und einem darunter befindlichen Spiegel versah, ist gewiss unter allen derjenige, welcher am leichtesten das Vergrösserungsglas nach den meisten Richtungen zu bewegen gestattet, da er nach allen Seiten beweglich ist. Aber gerade in dieser grossen Beweglichkeit liegt der Grund, warum ein solcher

Lupenträger durch vielfachen Gebrauch bald unbrauchbar wird, da die Kugelgelenke sich abnutzen und schlottern.

Besser, wenngleich in der Anwendung beschränkter, sind deshalb andere Lupenträger, von denen ich noch ein paar beschreiben will, die sich durch ihre Zweckmässigkeit empfehlen.

Sehr einfach ist die Einrichtung, welche nach Quekett von Lister angegeben und von Smith und Beck in London ausgeführt wurde (Fig. 254). Eine gewöhnliche Sacklupe hat am hintern Ende bei *c* eine vierseitige Oeffnung, in welche der vierseitige rechtwinkelig umgebogene Stab *d* passt, dieser sitzt an einer kleinen Hülse, die an der Stange *a* auf- und abgleiten und mittelst der Klemmschraube *b* festgestellt werden kann. Das Fussgestell ist solides Messing. Uebrigens sind schon seit vielen Jahren Lupenträger in Gebrauch gewesen, die mehr oder weniger Aehnlichkeit mit dieser Einrichtung hatten.

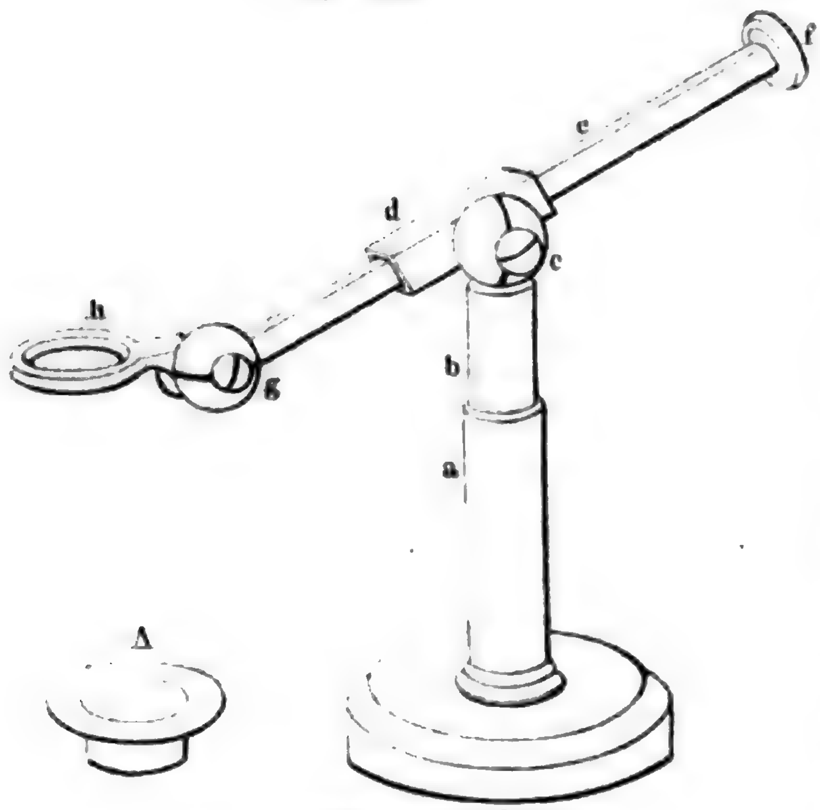
Fig. 254.



Lister's Lupenträger.

Noch brauchbarer, aber auch zusammengesetzter und theurer, ist der Lupenträger von Ross, welcher nach Quekett in Fig. 255 dargestellt ist. Er hat ein rundes $1\frac{1}{2}$ engl. Zoll messendes Fussstück mit einem kurzen Rohre *a*, in dem sich ein zweites Rohr *b* auf- und niederschieben lässt. Dasselbe hat oben ein Schraubengelenk *c*, woran die vierseitige Hülse *d* befestigt ist. In dieser bewegt sich der vierseitige Stab *e*, der an dem einen Ende ein zweites Gelenk *g* und den Ring *h* hat,

Fig. 255.

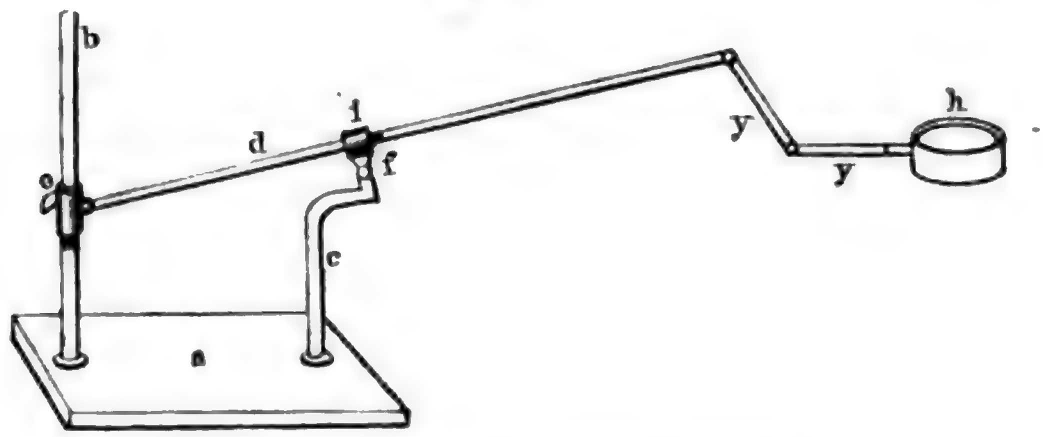


Lupenträger von Ross.

bestimmt für Linsen, welche in Röhrchen wie *A* gefasst sind. Durch das Gelenk *c* lässt sich der vierseitige Stab auf- und abbewegen, so dass die Linse in die gehörige Entfernung vom Objecte kommen kann, und da der Stab *e* in der Hülse *d* sich bewegt, so kann die Entfernung zwischen Linse und Stativ vergrössert oder vermindert werden. Das Gelenk *g* dient dazu, die Linse horizontal oder auch wohl unter einen Winkel zu stellen, unter welchem man das Object zu sehen wünscht. Wird die Röhre *b* mehr oder weniger ausgezogen, so kann man die Entfernung zwischen dem Tische und dem gegliederten Arme abändern. In dem Preiscourante von Ross steht dieser Lupenträger mit zwei Linsen mit 1 Pfd. Sterl. 14 Schilling.

Weit einfacher und fast eben so zweckmässig ist das Stativ von Strauss-Durckheim (*Traité pratique et théorique d'anatomie comparée.* Par. 1842. I, p. 72), welches Fig. 256 dargestellt ist. Auf einer länglich-

Fig. 256.

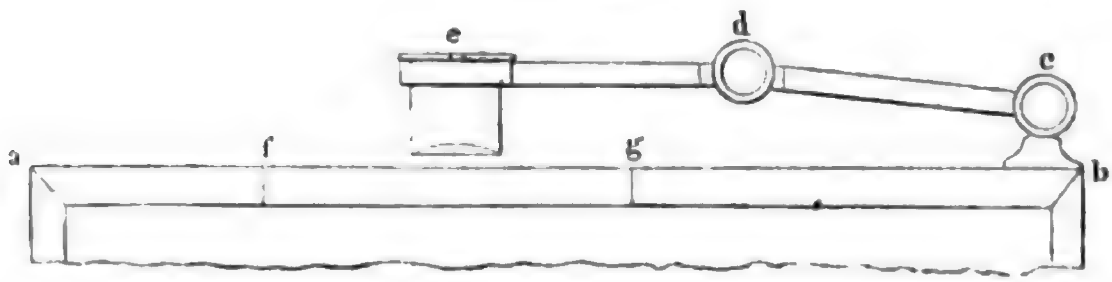


Lupenträger von Strauss-Durckheim.

vierseitigen Platte *a* aus Metall oder auch aus Holz, aber mit Blei eingelegt, stehen zwei messingene Stäbe *b* und *c* von ungleicher Länge. Der Arm *d*, der mit zwei Gelenken *yy* versehen ist, trägt die Lupe. Der ungegliederte Theil des Armes ist bei *e* durch ein Charnier mit einem Ringe verbunden, der sich am Stabe *b* bewegt, und bei *i* geht der Arm durch einen zweiten Ring, welcher durch ein Charnier *f* mit dem umgebogenen Arme *c* in Verbindung steht. Somit wirkt der Arm *d* als eine Art Hebel, und die Lupe kann in jede beliebige Höhe gebracht werden.

Auch die von Mohl (Mikrographie S. 25) empfohlene Einrichtung (Fig. 257) ist in den meisten Beziehungen ganz gut, und man kann auch

Fig. 257.



Mohl's Lupenträger.

damit bei durchfallendem Lichte arbeiten. Es ist ein Kästchen *ab* von 15 bis 20 Centimeter Länge auf 8 Centimeter Breite und Höhe, welches an der einen dem Fenster zugekehrten Seite offen ist und einen flachen Spiegel enthält, der sich um eine Axe dreht und durch einen rechterseits hervorragenden Knopf bewegt werden kann; oben aber, bei *fg*, hat dasselbe eine Oeffnung, die durch eine Glasplatte verschlossen werden kann. Ein mit zwei Charnieren *de* versehener Arm, der an jenem Kästchen angeschraubt ist, trägt die Lupe *e*.

Für solche Zwecke passt auch der Tisch, den ich früher (S. 362, Fig. 124) beschrieben habe, auf dem auch verschieden gestaltete Lupenträger mit beweglichem Fusse benutzbar sind.

Ziemlich gross ist die Anzahl der Stative für einfache Mikroskope, 412
die man in neuerer Zeit ersonnen hat und die noch meistens durch die jetzt lebenden Optiker ausgeführt werden, wenngleich sie jetzt nicht mehr wie vor einigen Jahren in Gebrauch sind, da das einfache Mikroskop, seitdem das zusammengesetzte so bedeutende Verbesserungen erfuhr, viel von seinen früheren Vorzügen eingebüsst hat.

Ohne auf eine vollständige Aufzählung aller zum Theil ganz unbedeutender Modificationen bei verschiedenen Optikern Anspruch zu machen, will ich hier mehrere einfache Mikroskope aus den bekanntesten Werkstätten beschreiben, besonders solche, die in der einen oder der andern Hinsicht eine speciellere Berücksichtigung verdienen.

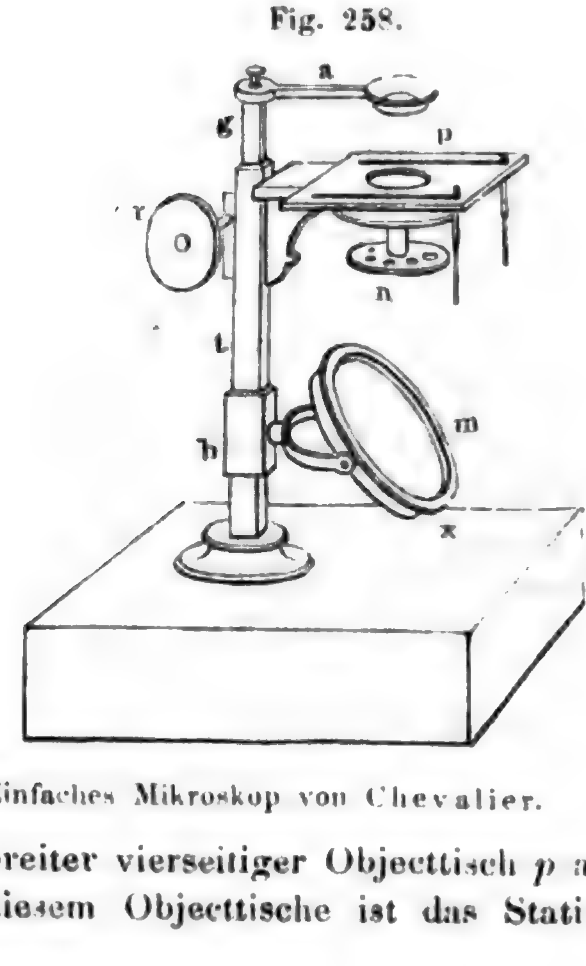
Wir haben bereits gesehen, dass in der letzten Hälfte des vorigen Jahrhunderts das einfache Mikroskop durch Cuff eine senkrecht stehende Stange mit einem daran befestigten Objecttische und einem beweglichen Linsenträger bekam. Eine im Wesentlichen ganz damit übereinstimmende Einrichtung sehen wir noch heutiges Tages an den Mikroskopen von Ch. Chevalier, an Raspail's von Deleuil gefertigtem Mikroskope, an den Instrumenten von Smith und Beck, an Pritchard's Taschenmikroskope, an einem einfachen Mikroskope von Ross, an jenem von Körner, von Plössl und vielen anderen. Manche indessen haben auch ihren Mikroskopstativen eine davon mehr oder weniger abweichende Form gegeben, und dadurch sind sie zwar, namentlich für starke Linsen und Linsensysteme, brauchbarer geworden, zugleich aber auch zusammengesetzter und theurer. Andere sollten mehr so eingerichtet werden, dass sie zur Zergliederung kleiner Objecte benutzbar wären. Andere sind wieder mehr auf die Erfindung ganz kleiner und möglichst compendiöser Stative ausgegangen, damit man ein stark vergrösserndes Mikroskop überall bequem bei sich herumtragen könne.

Das einfache Mikroskop von Charles Chevalier in Paris ist Fig. 258 (a. f. S.) dargestellt. Als Fuss dient das Kästchen *x*, in welches das Mikroskop kommt, wenn es nicht gebraucht wird. Darauf wird die hohle vierseitige Stange *t* geschraubt, und in dieser steckt eine andere vierseitige Stange *g*, die hinten sägeförmig eingeschnitten ist und durch ein

gezahntes Rad, wozu der Knopf *r* gehört, auf- und niederbewegt werden kann. Oben hat die Stange *g* einen rechtwinkelig damit verbundenen Arm *a*, an dessen Ende sich ein Ring befindet für die verschiedenen Doublets, die zu diesem Mikroskope gehören. Die vierseitige Platte *p*, die in der einen Richtung 8, in der andern 6 Centimeter misst, dient als Objecttisch: sie hat in der Mitte eine runde Oeffnung, unter welche die drehbare Scheibe *n* mit ungleich grossen Oeffnungen kommt, die als Diaphragma dient, um das Licht auf entsprechende Weise zu mässigen. Der Spiegel *m* ist auf der einen Seite concav, auf der andern eben und lässt sich durch die vierseitige Hülse *b* an *t* auf- und abschieben. Die Gesammthöhe des Stativs ist 14 Centimeter. Von den zugehörigen Doublets (s. S. 628) zeichnen sich namentlich die weniger stark vergrössernden, die am meisten und vortheilhaftesten benutzt werden, durch vorzügliche Nettigkeit und Schärfe des Bildes aus. — In Chevalier's Preiscourant von 1842 steht dieses Mikroskop mit zwei Doublets für 70 Francs. Das einzelne Doublet von 10 Linien (11malige Vergrösserung) bis zu einer Linie Brennweite (110malige Vergrösserung) kostet 10 Francs, ein solches von einer halben Linie (220malige Vergrösserung) 15 Francs, und eins von einer viertel Linie (440malige Vergrösserung) 20 Francs. Der Preis des Mikroskops mit einem vollständigen Satze von 7 Doublets und einer achromatischen Concavlinse ist 150 Francs.

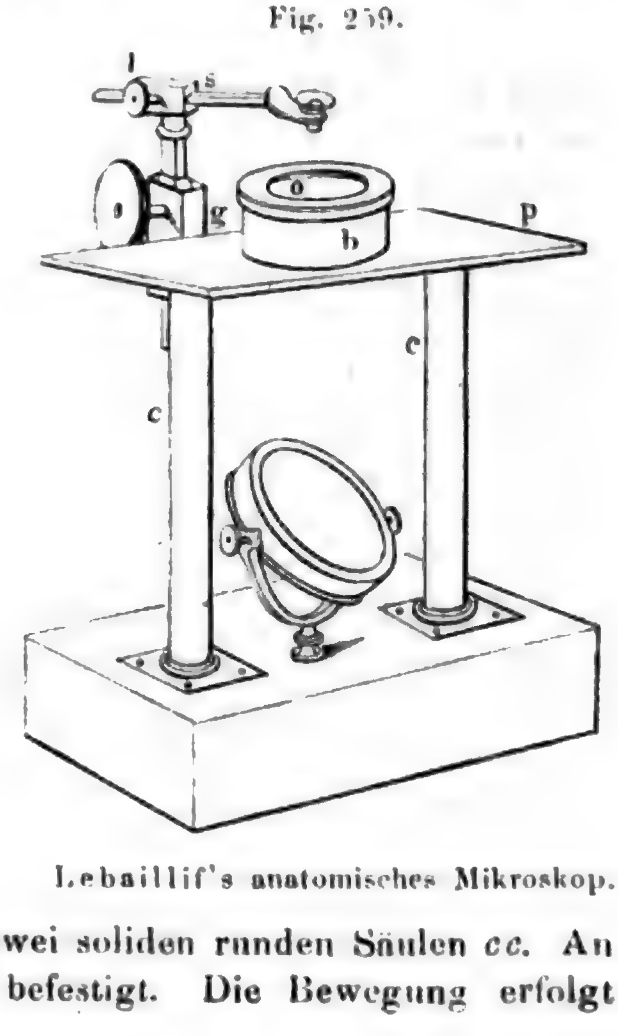
Chevalier hat auch eine Beschreibung und Abbildung des anatomischen Mikroskops von Lebaillif (Fig. 259) gegeben. Hier ruht ein

Fig. 258.



Einfaches Mikroskop von Chevalier.

Fig. 259.



Lebaillif's anatomisches Mikroskop.

breiter vierseitiger Objecttisch *p* auf zwei soliden runden Säulen *cc*. An diesem Objecttische ist das Stativ *g* befestigt. Die Bewegung erfolgt

in der nämlichen Weise, wie an Chevalier's Mikroskop; nur lässt sich der Linsenarm *s* durch ein gezahntes Rad in der Hülse *l* hin- und herschieben. In die runde Oeffnung des Objecttisches kommt die mit einem Glasdeckel *o* bedeckte Trommel *b*, die sich auf- und niederschieben, also höher und niedriger stellen lässt.

Für den genannten Zweck, nämlich um Zergliederungen unter der Linse vorzunehmen, ist dieses Mikroskop gewiss ganz zweckmässig eingerichtet, namentlich verdient in dieser Beziehung der grosse Objecttisch Erwähnung, der sich auf zwei Säulen stützt und dadurch feststeht. Die Hände finden einen Stützpunkt auf dem Objecttische zu beiden Seiten der Trommel, auf welche das zu zergliedernde Object zu liegen kommt. Die Beweglichkeit des Linsenarms *s* scheint aber nicht so nöthig zu sein; denn das Object wird wohl immer auf einem Glastäfelchen oder in einem kleinen Troge mit Flüssigkeit liegen, und diese lassen sich mindestens eben so leicht verschieben oder unter die Linse bringen. Dazu kommt noch, dass sich auch die Beleuchtung verändert, wenn die Linse über einen andern Theil des Objecttisches zu liegen kommt.

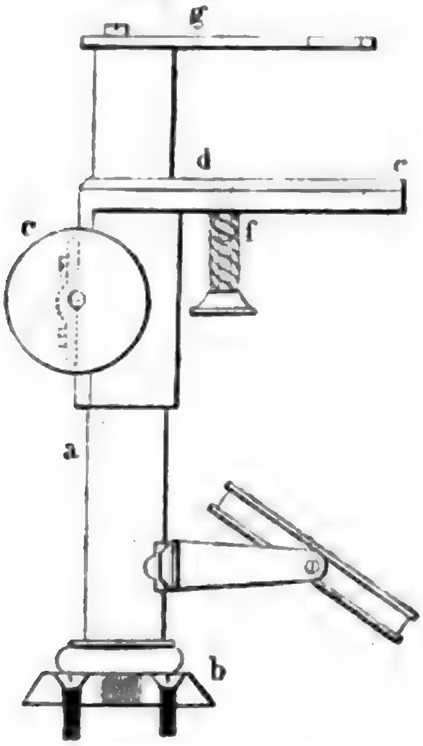
Auch Nachet in Paris liefert einfache, mit Doublets versehene Mikroskope. Sehr zweckmässig ist jenes eingerichtet, welches er nach der Angabe von Cosson ausgeführt hat. Dasselbe wird durch keinen hölzernen Fuss getragen, sondern der lange und deshalb zum Aufstützen der Hände sehr geeignete Objecttisch ruht auf drei kurzen Messingsäulchen. Auch lässt sich, wenn man will, daraus ein zusammengesetztes Mikroskop herstellen. Blos mit drei Doublets versehen kostet es 50 Francs. Kommen zwei Objectivsysteme und ein Ocularrohr hinzu, so steigt der Preis auf 120 Francs. Um diesen verhältnissmässig geringen Preis hat man ein für die meisten Untersuchungen ausreichendes Instrument.

Das einfache Mikroskop von Simon Plössl in Wien ist in Fig. 260 413
(s. f. S.) dargestellt. Es hat eine dreiseitige Stange von 10 Centimeter Höhe, an deren hinterer Seite die Säge für den Trieb *c* angebracht ist. Mit dem kleinen Kasten, auf dessen Deckel ein Ring *b* geschraubt ist zur Aufnahme der Stange des Mikroskops, zusammen genommen hat das Mikroskop 15 Centimeter Höhe. Der Objecttisch *d* wird durch den Trieb nach der Linse hin bewegt; er ist vierseitig, 3 Centimeter breit und hat eine Oeffnung von 2 Centimetern. Auf seiner obern Fläche befindet sich eine hufeisenförmige Klemmfeder *e*, welche durch die Spiralfeder *f* nach unten gezogen wird. Der für die Linsen bestimmte Arm *g* kann in horizontaler Richtung um seinen Befestigungspunkt an der Spitze der Mikroskopstange gedreht werden. Zur Beleuchtung dient ein Hohlspiegel von 2,5 Centimeter Durchmesser. An diesem Mikroskope, das ich nicht selbst kenne, rühmt Mohl die Einfachheit; tadelnswerth findet er aber daran, dass der Objecttisch sich nach der Linse zu bewegt, dass er ferner zu klein und dass keine Einrichtung zur Modificirung der Beleuchtung vorhanden ist. Ausserdem erachtet er auch die Klemmfeder und die hori-

zontale Drehung des Linsenarms für überflüssig. Auf Plössl's Preiscourant steht dieses Mikroskop mit 3 Doublets von 12- bis 100facher Vergrösserung mit 30 Conventions-Gulden, und mit 6 Doublets von 12- bis 300facher Vergrösserung mit 56 Conventions-Gulden.

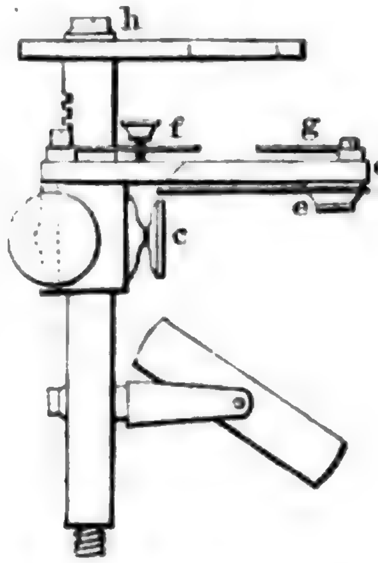
Das einfache Mikroskop von Körner in Jena (Fig. 261), wie ich es bei Mohl abgebildet finde, stimmt mit dem vorhergehenden ziemlich überein.

Fig. 260.



Einfaches Mikroskop von Plössl.

Fig. 261.



Einfaches Mikroskop von Körner.

Die vierseitige Stange ist 8 Centimeter hoch und hat auf der hintern Seite die Säge für den Trieb. Der Objecttisch *d* ist vierseitig, gut 3 Centimeter breit, und er kann durch die Klemmschraube *c* an der Stange festgestellt werden. Der Linsenarm *h* gestattet eine horizontale Drehung. Zur Beleuchtung dient ein Hohlspiegel von 2,5 Centimeter Durchmesser, und unter dem Objecttische befindet sich noch ein drehbares Diaphragma *e* mit zwei Oeffnungen. Auf dem Objecttische selbst sind noch zwei Klemmfedern *f* und *g* angebracht, von denen die bei *f* durch eine Schraube in Spannung versetzt werden kann. Dieses Mikroskop wurde von Schleiden (Grundzüge der wissenschaftlichen Botanik. 2. Aufl. 1845. I, S. 97) sehr gerühmt; nach seiner Beschreibung gehören dazu 4 Doublets, die bei einer 15- bis 120fachen Vergrösserung helle und schöne Bilder geben. Dagegen fand Mohl (Mikrographie S. 57) die stärkeren Doublets sehr mittelmässig, und obgleich ihm die ganze Einrichtung nicht unzweckmässig vorkommt, so findet er doch den beweglichen Objecttisch und die Klemmfedern auf demselben weniger passend. Uebrigens kostete ein solches Mikroskop nur 17 Thaler.

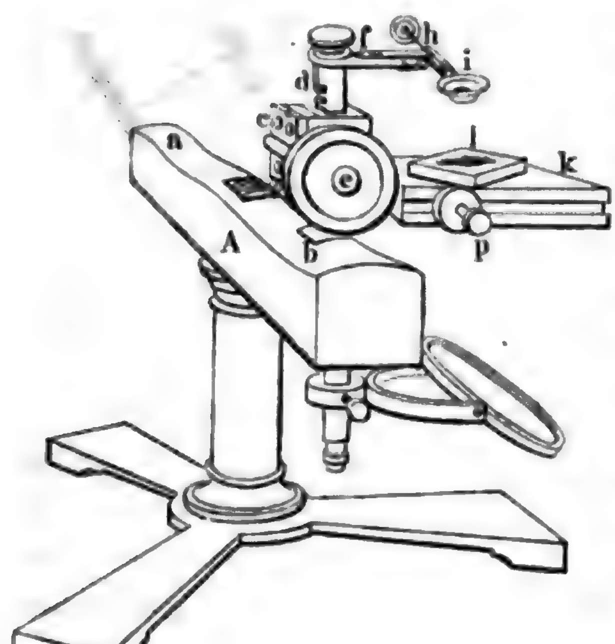
Die einfachen Mikroskope von Carl Zeiss in Jena wurden von Schleiden (Augsb. Allgem. Zeitung 1847. Nr. 289 und 297. Grundzüge der Botanik. 3. Aufl. I, S. 98) und später auch von Schacht (Das Mikroskop und seine Anwendung, 1851. S. 22. Botan. Zeitung 1852.

S. 598) angepriesen; namentlich sollen sie zum Präpariren auf dem Objecttische sehr geeignet sein. Es gehören dazu 4 Doublets mit 15- bis 30- bis 46- und 120facher Vergrösserung und ein Triplet mit 200facher Vergrösserung, und diese sollen sehr klare und scharfe Bilder geben. Zum Präpariren sind nur die drei schwächsten Doublets verwendbar. Blos mit diesen ausgestattet kostet das Mikroskop 18 Thaler; dagegen 26 Thaler, wenn auch die beiden anderen Systeme dabei sind.

Die einfachen Mikroskope von Pritchard in London haben sehr 414
verschiedenartige Gestelle, je nach dem besondern Zwecke, für den sie bestimmt sind.

Sein Taschenmikroskop (*Microscopic Cabinet*, p. 243) stimmt in der Hauptsache mit den bisher beschriebenen Instrumenten überein, nur zeichnet es sich durch seine compendiöse Form aus, da es im Ganzen noch nicht 6 Centimeter hoch ist. Es eignet sich deshalb sehr gut dazu, um es bei sich zu führen; zu Zergliederungen indessen ist es nicht passend. Dafür ist das Fig. 262 abgebildete Mikroskop ausdrücklich bestimmt. Auf einem schweren Dreifusse steht eine feste runde Messingsäule, womit die übrigen Theile des Gestells verbunden sind. *A* ist ein Holzkloben, der bei *a* und *b* etwas ausgehöhlt ist, um die Arme aufzunehmen. In dem daran sitzenden vierseitigen Stücke *c* bewegt sich der gezahnte Stab *d* auf und nieder, indem der Knopf *e* gedreht wird. Der Arm *f* lässt sich herumdrehen; am Ende *h* hat er ein Kugelgelenk, wodurch der Linsenträger *i* nach allen Richtungen beweglich wird. Der vierseitige Objecttisch *k* hat einen Schlitten, dessen beide Knöpfe bei *p* hervorragen, und ein vierseitiges Kästchen *l* mit Glasboden, wohinein die zum Zergliedern bestimmten Objecte kommen.

Fig. 262.

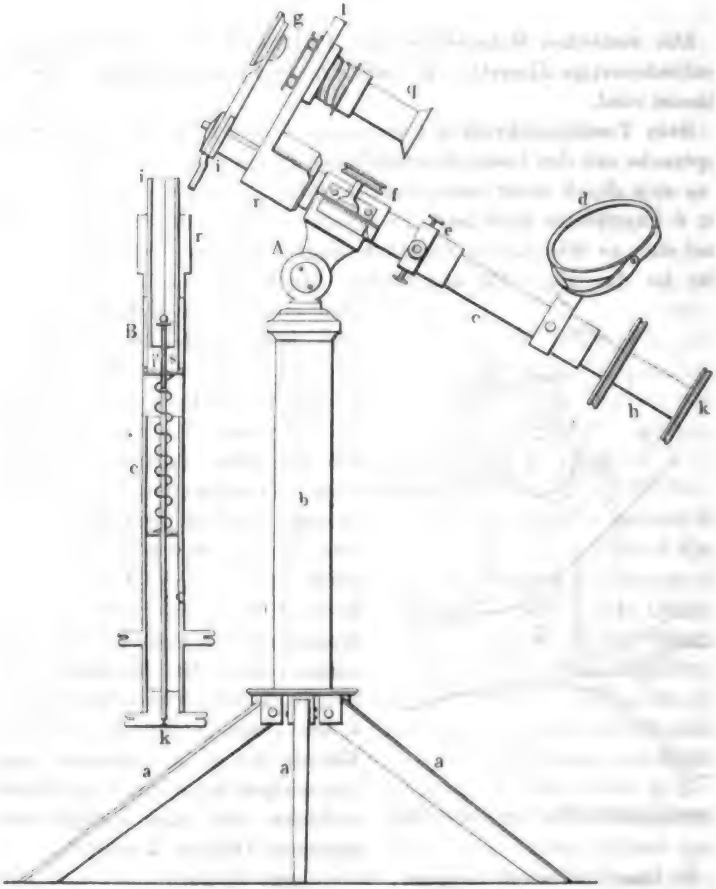


Dissectionsmikroskop von Pritchard.

Es lässt sich nicht leugnen, dass dieser Apparat in vielen Hinsichten seinem Zwecke entspricht; doch ist er auch ohne Noth sehr complicirt und dadurch theuer. Ein hölzerner Kolben zum Auflegen der Arme ist freilich besser als eine Unterlage von Metall, weil Holz ein schlechterer Wärmeleiter ist. Dadurch aber, dass diese Holzmasse an das Mikroskop selbst angebracht ist, wird dasselbe sehr schwer und erfordert deshalb eine ungewöhnliche Festigkeit, und doch kann das Gleiche bei jedem andern Mikroskope dadurch erreicht werden, dass man zur Seite desselben Blöcke von passender Höhe und Form legt.

Ein drittes einfaches Mikroskop von **Pritchard** ist Fig. 263 dargestellt. Bei *A* sieht man das ganze Instrument in geneigter Stellung; es kann aber auch vertical oder horizontal stehen. Die runde Säule *b* ruht auf drei Füssen *a a a*. Oben ist mit dieser Säule durch ein Charniergelenk die Hülse *f* verbunden, worin der eigentliche Mikroskopträger

Fig. 263.



Einfaches Mikroskop von Pritchard.

(er besteht aus Röhren) mittelst einer Klemmschraube festgestellt wird. In dem Rohre *c* bewegt sich ein Rohr *h*, durch eine Schraube verbunden, welche durch sie hindurch bis zum dreiseitigen Stabe oder Rohre *i* geht, dem Träger des Linsenarms, der die Linse bei *g* aufnimmt. Die Linse wird dem Objecte zunächst genähert durch Auf- und Niedergleiten des Rohrs *h*, und eine genaue Einstellung wird durchs Umdrehen des gerän-

derten Knopfs *k* erreicht. Der Objecttisch *l* ist an das dreiseitige Stück *r* befestigt. Zum Festhalten der Objecttäfelchen und Schieber dient ein Spiralfederapparat, der durch Bajoneteinlenkung an dem Objecttische befestigt wird; in denselben kann man Diaphragmen mit verschiedenen Oeffnungen bringen. In der darunter befindlichen Röhre *q* ist eine Beleuchtungslinse enthalten. Der Spiegel *d* lässt sich an dem Rohre *c* höher und niedriger stellen. Bei *e* kann auch noch eine Beleuchtungslinse angebracht werden, die in der Figur nicht angegeben ist.

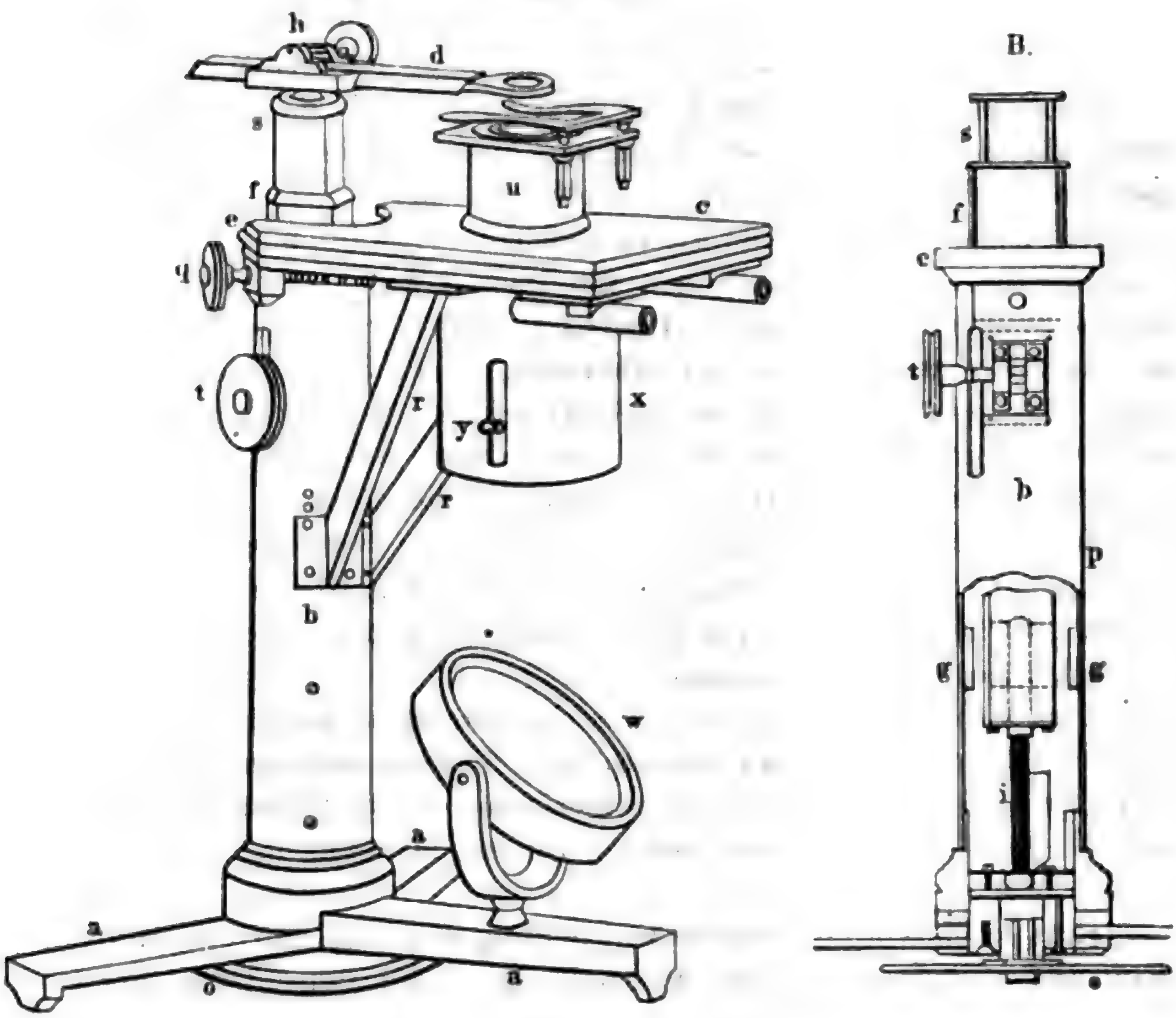
In *B* ist ein Durchschnitt des Mikroskopträgers dargestellt, um die mechanische Einrichtung der Bewegung besser übersehen zu können. In dem hohlen dreiseitigen Stücke *r*, welches oben aufgeschraubt ist, befindet sich das dreiseitige Rohr *i*, an welchem der Linsenarm befestigt ist. Unten in diesem Rohre sieht man ein kleines Stück *i'*, worin sich eine freie Schraube *s* mittelst des geränderten Knopfs *k*, womit sie verbunden ist, herumdreht. Die in der Abbildung sichtbare Spiralfeder drückt gegen das Stück *i'* am Boden des dreiseitigen Rohrs, und ihr anderes Ende stösst an eine in dem Rohre *h* befindliche Scheidewand. Wird nun die Schraube abwärts gedreht, so folgt ihr das Rohr *i* und somit auch der Linsenarm; das Umgekehrte aber findet statt, wenn sich die Schraube in entgegengesetzter Richtung bewegt. Die Spiralfeder hat blos den Zweck, die Bewegung zu reguliren, namentlich den sogenannten todten Gang der Schraube zu beseitigen.

Dieses Instrument hat also eine doppelte Bewegung, um die Linse und das Object einander zu nähern, eine gröbere und eine feinere, und in dieser Beziehung ist es besser eingerichtet, als die bisher beschriebenen Gestelle für sehr stark vergrössernde Linsen, Doublets u. s. w.

Eine noch vollkommenere Einrichtung hat das einfache Mikroskop 415
(Fig. 264 a. f. S.), welches Andreas Ross im Jahre 1831 zuerst für W. Valentine verfertigte. Bei *A* sieht man es von der Seite, bei *B* von hinten und zum Theil geöffnet, um die mechanische Einrichtung deutlicher zur Ansicht zu bringen. Auf dem Dreifusse *aaa* steht eine feste hohle Säule *b*, an welche der Objecttisch *c* befestigt ist. Doch wird dieser auch ausserdem noch durch die beiden schiefen Stücke *rr* getragen. Oben an der Säule ist durch drei Schrauben ein Capital *e* befestigt mit einer dreiseitigen Höhle in der Mitte, worin sich das dreiseitige Rohr *f* befindet, dessen unteres Ende durch ein ähnlich gestaltetes Rohr (*B. gg*) im Innern der Säule *b* tritt. Dieses dreiseitige Rohr bewegt sich mittelst der feststehenden Schraube *i*, welche mit dem geränderten Knopfe *o* unterhalb der Säule in Verbindung steht, auf und nieder. Dadurch wird die feine Einstellung erzielt. An der Spitze und am Boden des dreiseitigen Rohrs, bei *g* und nahe bei *p*, befinden sich zwei Stücke mit dreiseitiger Aushöhlung, um den dreiseitigen Stab *s* aufzunehmen, der durch einen Trieb und den geränderten Knopf *t* auf- und niederbewegt wird; dadurch wird aber die gröbere Einstellung bewirkt, und es kann die Linse dadurch bis auf 7,5

Centimeter vom Objecte entfernt werden. Die Schraube zur feinern Bewegung und genauen Einstellung hat 50 Umgänge auf einen englischen Zoll. Der geränderte Knopf *o* aber ist nach Solly's Vorschlage in 100 Theile getheilt. Man kann daher die Auf- und Niederbewegung

Fig. 264.



Einfaches Mikroskop von Ross.

nach $^1/_{5000}$ des englischen Zolls bestimmen, und hat darin ein Mittel zur Hand, um die Dicke der unter der Linse befindlichen Objecte zu messen.

Der Arm *d*, welcher die Linse trägt, ist an die dreiseitige Stange *s* durch ein kegelförmiges Stück befestigt, auf dem er sich horizontal drehen kann, und der Arm selbst kann durch den Trieb bei *h* verlängert und verkürzt werden. Man kann daher die Linse über alle Punkte des Objecttisches bringen.

Der grosse Objecttisch *c* besteht aus drei Platten: die unterste ist an die Säule befestigt, die beiden anderen sind darauf beweglich mittelst zweier Schrauben, deren eine bei *q* sichtbar ist, während die andere hinter dem Objecttische versteckt ist. Durch diese beiden Schrauben wird der Objecttisch in zwei Richtungen, die rechtwinkelig auf einander stehen, bewegt. Auf der obern von den drei Platten steht die Trommel *u*

mit einer hufeisenförmigen federnden Lamelle, um die Objecttäfelchen damit zu befestigen.

Der Beleuchtungsapparat besteht erstens aus dem Spiegel *w*, der auf der einen Seite concav, auf der andern gerade ist, und zweitens aus der unter dem Objecttische angeschraubten Röhre *x*, worin sich eine Beleuchtungslinse befindet, die durch zwei nach aussen vorstehende Knöpfe (einer davon ist bei *y* sichtbar) höher und niedriger gestellt werden kann.

Soviel steht fest, dass kein anderes Stativ für das einfache Mikroskop so viele gute Eigenschaften in sich vereinigt, als das von Ross. Für den Zweck, wozu das einfache Mikroskop gegenwärtig am meisten benutzt wird, nämlich zu Zergliederungen, darf es freilich wohl als zu sehr zusammengesetzt erachtet werden. Allein das nämliche Gestell lässt sich auch mit sehr geringen Modificationen für ein zusammengesetztes Mikroskop verwenden, wie es Ross auch ausgeführt hat, und dabei kommen die verschiedenen Bewegungsmittel zu Statten, die an diesem Gestelle auf eine allerdings ganz entsprechende Weise angebracht worden sind.

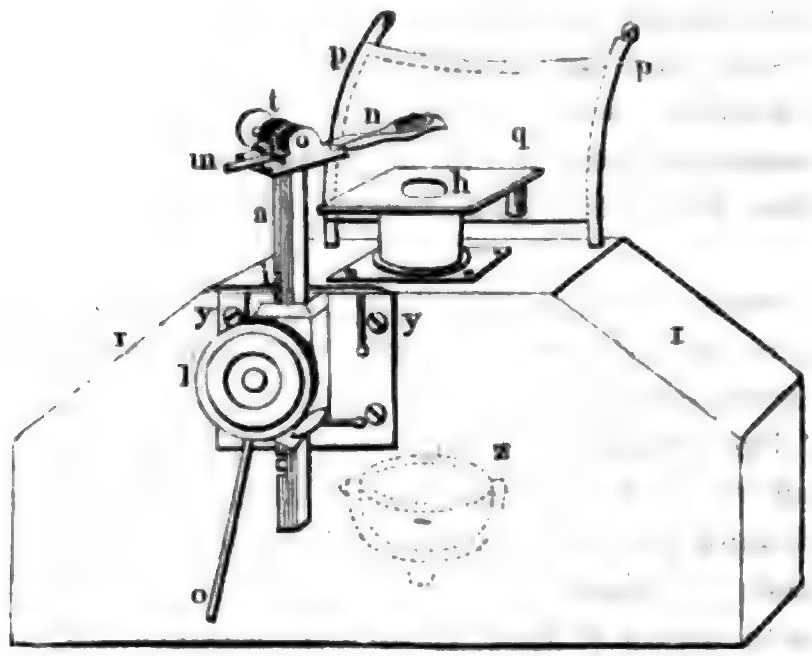
Ross hat übrigens für das einfache Mikroskop auch viel einfachere Gestelle, die in der Hauptsache mit den bereits beschriebenen von Chevalier übereinstimmen.

In seinem Preiscourant werden zwei aufgeführt. Das eine mit vier einfachen Linsen von 1 bis $^1/_{10}$ engl. Zoll Brennweite und einem Doublet von $^1/_{20}$ Zoll Brennweite kostet 4 Pfd. 14 Schill. 6 Pence. Ein ähnliches mit einem grössern Objecttische zu Zergliederungen und mit besseren Bewegungsmitteln kostet 6 Pfd. 16 Schill. 6 Pence. Doublets von $^1/_{10}$ bis $^1/_{30}$ Zoll Brennweite kosten 15 Schill. bis 1 Pfd. 10 Schill.; ein Triplet von $^1/_{40}$ Zoll Brennweite 2 Pfd. 10 Schill.; einzelne Linsen von $^1/_4$ bis $^1/_{80}$ Zoll Brennweite 5 Schill. bis 1 Pfd. 10 Schill.

Zweckmässig, aber ganz einfach eingerichtet sind auch die einfachen Mikroskope von Smith und Beck; von den Chevalier'schen unterscheiden sie sich nur durch einen runden ringförmigen Objecttisch und eine dahin kommende Glasscheibe, wie im ursprünglichen Cuff'schen Mikroskope. Auch die von Powell haben eine solche Einrichtung, daher ich mich nicht bei ihnen aufhalte, so wenig als bei manchen anderen, z. B. den Taschenmikroskopen von Carry, von Dollond u. s. w., die sich in keiner irgend wesentlichen Beziehung von den bereits beschriebenen unterscheiden. Vom letztern sei nur noch erwähnt, dass er die frühere Leeuwenhoek'sche Methode eingehalten hat, wornach die Linsen nicht in Röhrchen, sondern zwischen Täfelchen befestigt werden; und das verdient allerdings bei stark vergrössernden Linsen den Vorzug, weil das Gesichtsfeld grösser wird in Folge der grössern Annäherung des Auges zur Linse. Diese Täfelchen sind 50 Millimeter lang und 12 Millimeter breit, und beim Gebrauche kommen sie in eine Rinne am obern Ende der Mikroskopstange; es fehlt daher der gewöhnliche Linsenarm.

416 Hier darf aber die von Slack (*Transactions of the Society of Arts*, Vol. 49) ersonnene Einrichtung nicht übergangen werden, die mir unter allen Dissectionsmikroskopen dem Zwecke am besten zu entsprechen scheint. Man sieht sie in Fig. 265 von hinten. Es gehört dazu ein hölzerner Kasten von 18 Centimeter Höhe und 10 Centimeter Breite. An der obern Fläche sind die Theile *rr* geneigt, um die Arme darauf zu stützen; sie bilden Quadrate von 10 Centimeter, während der horizontale Theil dazwischen 15 Centimeter lang und 10 Centimeter breit ist. Am Boden dieses Kastens und zwar in der Mitte steht ein grosser runder Spie-

Fig. 265.



Dissectionsmikroskop von Slack.

gel *z*, der auf die bei den Mikroskpen gewöhnliche Weise in einem Bügel aufgehängt ist. Gerade darüber hat der Kasten oben eine runde Oeffnung, in welche der Objecttisch *h* geschraubt wird; er steht auf einem 2,5 Centimeter hohen Rohre, um welches er sich in horizontaler Richtung dreht, damit das Object in jegliche passende Stellung gebracht werden kann. Die Einrichtung für den Linsenträger und für dessen Annäherung zum Objecte befindet sich auf der Hinterfläche des Kastens. Eine senkrechte Stange *a* von 15 Centimeter Länge, die auf der einen Seite sägeförmig gezahnt ist, trägt den Linsenarm *mn*, und dieser lässt sich nicht nur horizontal herumdrehen, sondern auch durch den Trieb *t* verlängern und verkürzen. Das Auf- und Niederbewegen der Stange und des daran befestigten Linsenarms geschieht durch ein Zahnrad, mit welchem der geränderte Knopf *l* in Verbindung steht, der 5 Centimeter Durchmesser hat und somit eine ziemlich genaue Einstellung gestattet, die übrigens noch genauer ausgeführt werden kann mittelst des Hebels *o*, der in eine Reihe von Höhlungen am Rande des Knopfes *l* passt. Diese ganze Partie steht mit einer Messingplatte *i* in Verbindung, die sich auf einer andern an den Kasten angeschraubten Platte *y* bewegt. Sollen durchsichtige Ob-

jecte zergliedert werden, dann kommt der aus schwarzem Zeug bestehende Schirm *q* vor den Objecttisch, und wird mittelst zweier kleinen Stäbe *pp* befestigt, die etwas nach vorn umgebogen sind, damit sie den Kopf nicht behindern. Dieser Schirm gewährt einen doppelten Nutzen: er hält alles von aussen kommende Licht ab, ausgenommen jenes vom Spiegel reflectirte, und er schützt die Augen des Beobachters gegen das Kerzen- oder Lampenlicht, falls bei künstlichem Lichte gearbeitet wird.

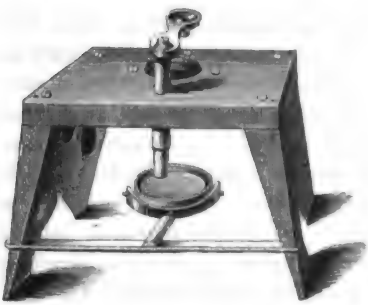
Das Dissectionsmikroskop von Slack ist gewiss recht gut eingerichtet. Es ist aber klar, dass jeder, der ein gutes einfaches Mikroskop von einfacher Zusammensetzung hat, ohne grosse Mühe sich eine solche Einrichtung herstellen kann, da es durchaus nicht unerlässlich ist, dass alles ganz genau mit der obigen Beschreibung übereinstimmt. So kann z. B. die horizontale Drehung und das Hin- und Herbewegen des Linsenarms ohne Nachtheil fehlen, eben so wie das Drehen des Objecttisches um seine Axe. Auch lassen sich nach Umständen noch andere nicht gerade wesentliche Modificationen anbringen, die man aber unbedenklich jedem, der sich eine solche Einrichtung anschafft, überlassen kann.

Endlich ist hier noch zu nennen das Taschen- und Dissectionsmikroskop von Quekett (Fig. 266), welches Highley in London nach seiner Angabe verfertigt hat, und woran alle Theile compendiös und zweckmässig

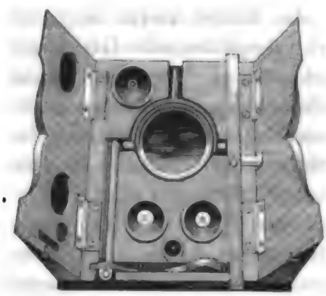
Fig. 266.

Quekett's Dissectionsmikroskop.

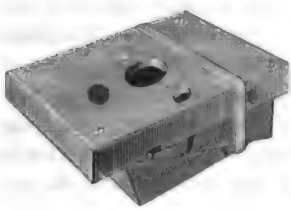
A.



B.



C.



eingerichtet sind. Bei *A* sieht man das Instrument, wenn es eben gebraucht werden soll; bei *B* sieht man es von der untern Seite, wenn der Spiegel und die Linsen wieder in den für sie bestimmten Ausschnitten stecken; bei *C* endlich sieht man das Mikroskop, wenn seine beiden keilförmigen Seitentheile, auf denen die Platte ruht, zusammengeschlagen sind, so dass sie einander decken und ausserdem noch durch einen

Kautschukring zusammengehalten werden. Ist das Mikroskop wie bei *C* zusammengelegt, so beträgt seine gesammte Höhe $1^1/_2$ engl. Zoll und es hat eine quadratische Oberfläche von $5^1/_2$ Zoll. Die Platte hat demnach noch Raum genug, um den vordern Theil der Hände aufzulegen, wenn ein Gegenstand unter der Linse zergliedert wird. — Mit drei Linsen von 1 Zoll, $^1/_2$ Zoll und $^1/_4$ Zoll Brennweite liefert Highley dieses Mikroskop für $31^1/_2$ Schillinge. — Natürlich lassen sich auch Linsen und Doublets von kürzerer Brennweite dabei brauchen; allein für stärkere Vergrösserungen reicht wohl der Beleuchtungsapparat nicht aus.

417 Ueberblicken wir nun noch einmal die Geschichte des einfachen Mikroskops, wie sie bis hierher gegeben worden ist. Wir haben gesehen, dass dasselbe zuerst sehr unvollkommen war, in optischer wie in mechanischer Beziehung. Eine Linse, die 9 bis 10 Mal vergrösserte, in einem Röhrchen, an dessen Ende das Object gebracht wurde, ohne irgend ein Mittel zur Abänderung der Entfernung, bildete das vollständige Mikroskop. Etwas später fing man an, etwas stärkere Linsen herzustellen. Auch war man auf verschiedene Mittel bedacht, die Entfernung zwischen Object und Linse veränderlich zu machen; es wurden viele Einrichtungen dafür ersonnen, von denen manche allerdings den Scharfsinn ihrer Erfinder bezeugten, aber zugleich auch verriethen, auf welcher niedrigen Stufe die praktische Mechanik in jenen Tagen noch stand. Man ging nun darin weiter, dass man immer kleinere und kleinere Linsen schliff, und wo die Kunst hierin noch nicht ausreichte, ersetzte man diese durch stark vergrössernde Glaskügelchen. Damit machte sich aber auch eine Verbesserung der Beleuchtungsweise nöthig, weil das Licht bei diesen starken Vergrösserungen zu schwach ausfiel. Man brachte deshalb eine Linse hinter das Object, um das Licht auf letzteres zu concentriren; auch dachten schon manche an Mittel, um durch Diaphragmen mit verschiedenen Oeffnungen die Stärke des Lichts gemäss den Umständen und nach der Natur der Objecte zu modificiren. Endlich wurde auch die Beleuchtung durch auffallendes Licht wesentlich verbessert durch Einführung concaver Metallspiegelchen, wodurch das Licht auf das Object reflectirt wurde.

So war der Zustand des einfachen Mikroskops etwa ein Jahrhundert nach seiner Erfindung. Man benutzte allgemein Glaskügelchen oder biconvexe Linsen, die letzteren schon von 200- bis 300facher Vergrösserung, und die ersteren von noch weit stärkerer Vergrösserung, und damit wurden viele noch heutiges Tags brauchbare Beobachtungen angestellt. Aber noch immer musste man das Mikroskop mit der Hand gegen das Licht halten, und viele Dinge konnten wegen der hierbei erforderlichen vertikalen Stellung nur unvollkommen gesehen werden, da auch ausserdem die Gelegenheit fehlte, sie unter einem vergrössernden Glase zu zergliedern.

Dem letztern Mangel wurde zuerst abgeholfen. Man brachte einen mit Gelenken versehenen Linsenträger auf einen Fuss. Der Natur der Sache nach konnten aber hierzu zuvörderst nur schwach vergrössernde Linsen genommen werden, damit das Object und dessen Theile noch bei auffallendem Lichte sichtbar blieben. Später wurde auch hierin eine Verbesserung erzielt, indem man den bereits früher beim zusammengesetzten Mikroskope gebrauchten Spiegel auch auf das einfache Mikroskop übertrug. Weiterhin erkannte man, dass dem Mikroskope auch ein besonderer Objecttisch zugefügt werden könne, der frei und hinlänglich gross war, um mehrere Objecte darauf zu bringen, die unter der Linse zergliedert werden konnten. Der Objecttisch und die darauf auszuführenden Arbeiten erforderten aber eine grössere Festigkeit des ganzen Apparats, als bisher, und so entstand das Stativ oder die Stange, woran die verschiedenen Theile des Instruments befestigt wurden. Auch wurden mehrere bereits vielfach verbesserte Einrichtungen getroffen, um den Abstand zwischen Linse und Object zu reguliren, wozu eine um so grössere Genauigkeit erforderlich war, je mehr man in der Anfertigung stark vergrössernder Linsen bis zu 700 Mal und mehr fortschritt, während man es mit Glaskügelchen bis zu einer noch weit stärkern Vergrösserung trieb.

Auf dieser Stufe stand das einfache Mikroskop während der letzten Hälfte des vorigen Jahrhunderts und selbst noch im ersten Viertel unsers Jahrhunderts. Zu wissenschaftlichen Untersuchungen verdiente es damals bei weitem den Vorzug vor dem zusammengesetzten Mikroskope, und mit ihm sind daher auch alle bedeutenden Untersuchungen während dieses Zeitraumes ausgeführt worden. Die meisten zweifelten an der Möglichkeit einer gründlichen Verbesserung des zusammengesetzten Mikroskops, und selbst noch, nachdem die desfallsigen Versuche die Möglichkeit eines günstigen Erfolgs ahnen liessen, suchten manche das einfache Mikroskop auf eine höhere Stufe optischer und mechanischer Vollkommenheit zu erheben. Eine genauere Kenntniss der Gesetze, denen der Gang der Lichtstrahlen folgt, gab die Berechtigung nach der einen Seite, nach der andern aber waren es die grossen Fortschritte unserer praktischen Mechanik. Man kam darauf, statt der Glaskügelchen und biconvexen Linsen, bei denen sich immer eine starke sphärische Aberration geltend macht und die deshalb nur eine geringe Oeffnung besitzen dürfen, Linsen zu Systemen zu vereinigen, und man lernte die besten Methoden zur Anfertigung von Doublets und Triplets kennen. Man fing an, statt des Glases die stärker strahlenbrechenden, dabei aber weniger farbenzerstreuenden Edelsteine zu Linsen zu verwenden. Statt der kleinen Hülse endlich, woraus das kleine *Vitrum pulicarium* von ehedem bestand, verfertigte man Mikroskopgestelle, deren Einrichtung zwar eine sehr complicirte, dabei aber auch eine recht verständige war, die eine vielleicht mehrwöchige Arbeit erforderten, und an denen nichts vergessen wurde, was bei feineren Beobachtungen nur einigermaassen von

Nutzen sein kann, z. B. die gröberen und feineren Bewegungen zur gehörigen Einstellung der Linsen, zweckmässige Beleuchtungsapparate, Mittel zur mechanischen Bewegung der Objecte u. s. w.

Und dennoch gelang es dem einfachen Mikroskope nicht, seinen frühern Vorrang zu behaupten. Als Instrument, mittelst dessen das Auge in die tiefsten Schlupfwinkel der Natur einzudringen vermag, hat es seinem Nebenbuhler, dem zusammengesetzten Mikroskope, weichen müssen, wie sich im folgenden Abschnitte bei der Vergleichung beider herausstellen wird. Von jetzt an ist dem einfachen Mikroskope ein geringerer Wirkungskreis als früherhin zugefallen. In allen jenen Fällen, wo starke Vergrösserungen von 200 Mal und darüber gefordert werden, ist es nicht mehr das vorzugsweise gebrauchte Instrument; dagegen ist es noch immer in allen Fällen brauchbar, wo man einer geringern Vergrösserung bedarf, und da es auch noch den Vortheil bietet, dass es die Objecte in ihrer wahren Stellung zeigt, so eignet es sich auch viel besser, wenn Zergliederungen unter dem Mikroskope vorgenommen werden sollen. Das zusammengesetzte Mikroskop lässt sich freilich auch als ein bildumkehrendes einrichten, aber natürlicher Weise ist eine solche Einrichtung theurer, und hinsichtlich der bequemen Tragbarkeit, die doch natürlich für denjenigen, der die Natur in der Natur selbst zu studiren wünscht, immer von sehr grossem Gewichte sein wird, ist gar kein Vergleich mit dem einfachen Mikroskope möglich.

Fünfter Abschnitt.

Das zusammengesetzte dioptrische Mikroskop.

Das zusammengesetzte Mikroskop, wie es zuerst aus den Händen 418
von Hans und Zacharias Janssen kam, war gewiss kein Instrument, das die Merkmale einer geringen Kunstfertigkeit der Erfinder an sich trug; nach der Beschreibung, die uns Willem Boreel davon giebt (S. 588), hält es im äussern Ansehn wenigstens recht wohl einen Vergleich mit späteren Mikroskopen aus. Das anderthalb Fuss lange und zwei Zoll dicke Rohr war von vergoldetem Messing; es wurde von drei Delphinen aus dem nämlichen Metalle getragen und ruhte auf einem Fusse aus Ebenholz, der zugleich dazu diente, mehrere kleine Instrumente und die zu betrachtenden Objecte aufzunehmen.

Viele Autoren sind in Betreff dieses Instruments in einen sonderbaren Irrthum verfallen, der zuerst bei Priestley (*History and present state of discoveries relating to vision* etc. p. 77) vorzukommen scheint, von wo ihn Adams (*Essays on the microscope* p. 3) aufgenommen hat, weiterhin der Verfasser des Artikels *Microscope* in der *Encyclopaedia Britannica*, desgleichen Chevalier (Die Mikroskope u. s. w. S. 3), Krünitz (Encyclopädie Th. 90, S. 243), Quekett (Praktisches Handbuch der Mikroskopie S. 3), Hogg (*The Microscope, its history, construction and applications*. Lond. 1854. p. 2). Alle diese Autoren haben in diesem Punkte, wie in manchen anderen, einander abgeschrieben, ohne die Quellen nachzusehen, aus denen für die Geschichte des Instruments zu schöpfen war. Es heisst nämlich immer, das Instrument habe sechs Fuss Länge gehabt, und deshalb waren wohl manche der Ansicht, es sei gar kein Mikroskop, sondern eher ein Instrument gewesen, welches zwischen Mikroskop und Teleskop mitten inne stand, dergleichen auch später als sogenannte polydynamische Mikroskope angefertigt wurden.

Der Irrthum ist offenbar durch eine verkehrte Uebersetzung der Worte *»ad sesquipedem longo«* bei Boreel entstanden, zumal da derselbe vorher sagt: *»nec erat (ut nunc talia monstrantur) curto tubo«*, womit er aber wahrscheinlich die damals sehr gebräuchlichen *Microscopia pulicaria* meint. Wir haben uns jedoch das Middelburg'sche Mikroskop so vorzustellen, dass es im äussern Ansehn sich nicht sehr von jenen unterschied, die einige Jahre später verfertigt wurden.

Ueber seine optische Zusammensetzung lässt sich kaum etwas Bestimmtes sagen, da Boreel darüber schweigt. Das Wahrscheinlichste ist wohl, dass es zwei convexe Linsen hatte, ein Objectiv und ein Ocular. Wilde (Geschichte der Optik, S. 151) erachtet es zwar für das Wahrscheinlichste, dass dieses Mikroskop aus einer concaven und einer convexen Linse bestanden habe, weil auch die ersten Teleskope eine solche optische Einrichtung hatten. Dieser Grund kann aber nicht als gültig erachtet werden, weil das Mikroskop vor dem Teleskope erfunden worden ist, und da auch in den späterhin während des 17. Jahrhunderts verfertigten Mikroskopen (jenes von Fontana ausgenommen) nur convexe Gläser benutzt worden sind. Dass dies auch bei dem Middelburg'schen Mikroskope der Fall war, wird fast zur Gewissheit erhoben dadurch, dass nach den oben (S. 587) mitgetheilten Briefen von Peiresc jene Instrumente, welche Drebbel nach dem Muster des Middelburg'schen verfertigte, ein verkehrtes Bild gaben, also sicherlich aus zwei convexen Linsen bestanden. — Beleuchtungsapparate scheinen Janssen's Mikroskope ganz gefehlt zu haben.

Was die Vergrösserung dieses Mikroskops betrifft, so giebt Boreel an, man habe kleine Objecte ungemein gross (*ad miraculum fere maxima*) dadurch gesehen. Wenn wir auch kein zu grosses Gewicht auf diese Worte legen wollen, so darf doch wohl soviel daraus gefolgert werden, dass das Mikroskop von Hans und Zacharias Janssen in dieser Hinsicht jenen Mikroskopen nicht viel nachstand, die ein halbes Jahrhundert später gefertigt wurden und die Boreel, nach dem Inhalte seines Briefes zu urtheilen, recht wohl kannte.

Dass Drebbel, der das Janssen'sche Mikroskop geschenkt bekommen hatte, bald nachher auch Mikroskope verfertigte, ist oben (S. 587) bereits mitgetheilt worden.

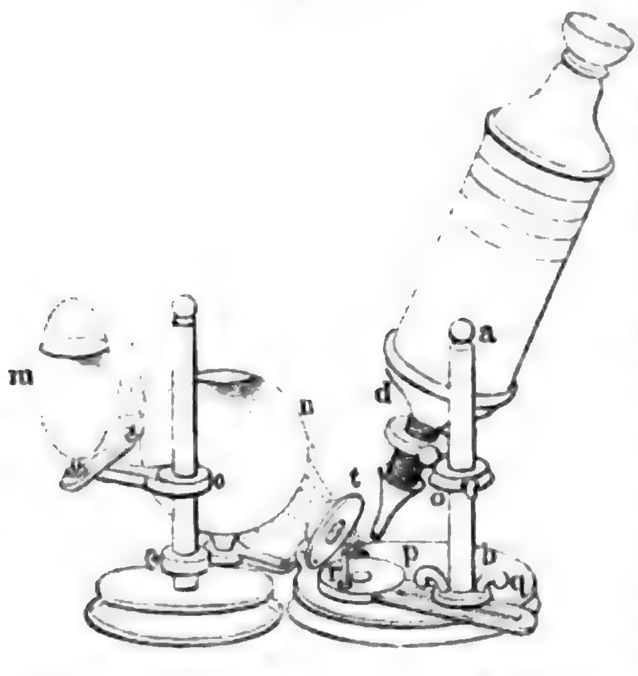
Das Mikroskop, welches Fontana 1646 beschrieb, dessen Beschreibung ich aber nur aus dem kurzen Auszuge bei Borellus (*De vero telescopii inventore* etc. Lib. II, p. 21) kenne, hatte zwei convexe Linsen, und zwischen diesen war eine Concavlinse angebracht. Es scheint nicht über 2 bis 3 Zoll Länge gehabt zu haben. Ueber seine übrige Einrichtung finde ich nichts angegeben.

Das erste zusammengesetzte Mikroskop von Galilei muss nach der Beschreibung, die er davon an Federico Cesi gab (S. 591), mit den Drebbel'schen Instrumenten, welche Peiresc schickte, übereinstimmend gewesen sein. Sie bestanden aus zwei beweglichen Röhren, um

das Instrument verkürzen und verlängern und somit die Vergrösserung abändern zu können: die Objecte mussten bei beiden auf den Fuss des Instruments kommen, mit dem Unterschiede jedoch, dass beim Drebbel'schen Instrumente längliche, beim Galilei'schen runde, scheibenförmige Objecttäfelchen gebraucht wurden.

Das älteste zusammengesetzte Mikroskop, von dem wir eine Abbildung haben (Fig. 267), ist das von Robert Hooke in der im Jahre 1665 herausgekommenen *Micrographia*. Es hatte drei Zoll Durchmesser und sieben Zoll Länge, und bestand aus vier Röhren, die sich ausziehen liessen, um das Mikroskop zu verlängern: sodann enthielt es drei Gläser, namentlich ein kleines Objectivglas, ein Mittelglas und ein Ocular. Hooke benutzte alle drei Gläser, wenn es ihm um ein grosses Gesichtsfeld zu thun war; er liess aber das mittlere weg, wenn er die Objecte recht genau betrachten wollte. 419

Fig. 267.



Hooke's zusammengesetztes Mikroskop.

Der verdünnte untere Theil des Mikroskoprohrs *d*, worin sich die Objectivlinse befand, war mit einem Schraubendrahte versehen, mittelst dessen eine Annäherung zum Objecte, so wie eine Entfernung von demselben möglich war, und mit dem Stative *ab* war das Mikroskop durch ein Charniergelenk bei *o* verbunden, damit das Rohr verschiedenartig geneigt werden konnte. Eine Art beweglicher Schlitten *pq* hatte an dem Ende *p* einen runden Objecttisch, darauf stand die kleine Säule *r*, die hohl war und einen Stift enthielt, der sich höher und tiefer stellen liess, um Objecte daran zu befestigen.

Dieses Mikroskop war ausdrücklich dazu bestimmt, Objecte bei auffallendem Lichte zu beschauen, wobei sich Hooke des nebenstehenden Beleuchtungsapparates bediente. Dieser besteht aber aus einer Lampe *m*, einer mit Wasser gefüllten Glaskugel *n* und einer biconvexen Linse *t*, durch welche das Licht auf das Object concentrirt wird.

Um die nämliche Zeit etwa machte sich Eustachio Divini in Rom sehr berühmt durch das Verfertigen von Mikroskopen, die einigermaassen von den früheren abwichen. Ein Bericht darüber wurde 1668 der *Royal Society* in London abgestattet, der dem *Giornale dei Letterati* entnommen war und in den *Philos. Transact.* 1668. Nr. 42 abgedruckt wurde. Eine genauere Beschreibung soll sich übrigens bei Honoratius Fabri (*Synopsis óptica.* Prop. 46) finden, die ich aber nicht habe nachsehn können. Divini's 420

Mikroskop enthielt ausser der Objecttivlinse zwei planconvexe Oculare, die so gestellt waren, dass sie einander mit der Mitte ihrer gewölbten Flächen berührten. Diese Oculare hatten nach Priestley (*History* etc. p. 218), der aus Birch's *History* Vol. 4, p. 313 geschöpft hat, ungefähr die Breite einer Mannshand, und das sie enthaltende Rohr soll die Dicke eines Mannsschenkels gehabt haben; doch steht davon nichts in den *Philos. Transactions*. Das Mikroskop war etwa $16^1/_2$ Zoll lang, und es liess sich zu vier verschiedenen Längen ausziehen, um die verschiedenen Vergrösserungen herauszubringen. Die schwächste Vergrösserung war 41 Mal im Durchmesser, die stärkste 143 Mal. Der Durchmesser des Gesichtsfeldes, auf dem Objecttische gemessen, betrug 8 Zoll 7 Linien, wenn das Mikroskop ganz zusammengeschoben war, dagegen etwas über 16 Zoll, wenn man alle Röhren auszog. Es zeichnete sich besonders dadurch aus, dass die betrachteten Objecte nicht verbogen, sondern geradflächig waren.

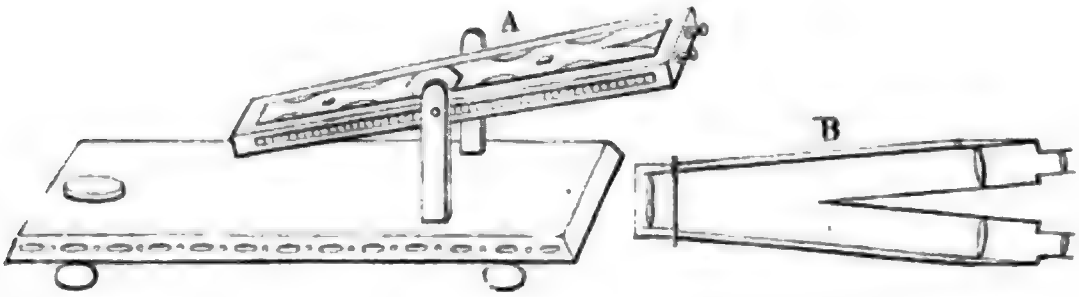
Zeitgenossen und Landsleute von Eustachio Divini waren Campani in Bologna und Salvetti. Beide, namentlich aber der letztgenannte, sollen sich in der Verfertigung von Mikroskopen ausgezeichnet haben; von ihren Instrumenten sind mir jedoch weder Beschreibungen noch Abbildungen bekannt. Vielleicht ist aber ein Mikroskop von Salvetti gemeint, wenn Kinner in einem Briefe an Schott (s. P. G. Schott, *Technica curiosa*. Herbipol. 1687, p. 857) erzählt, er habe Kircher gebeten, ihm ein Mikroskop von Eustachio Divini zu schicken, und Kircher habe ihm eins geschickt, das nicht von Divini, sondern von einem andern jungen Menschen in Rom verfertigt wurde, dessen Instrumente nur halb soviel kosteten, und doch gleich gut, wenn nicht besser wären, als jene von Divini. Kinner rühmt dieses Mikroskop sehr, und erwähnt, dass es 80 Mal im Durchmesser vergrössere, »*quod certe insigne augmentum est.*«

421 Indem ich mich möglichst an die Zeitfolge halte, muss ich jetzt eines Versuchs zur Verbesserung des zusammengesetzten Mikroskops gedenken, der zwar auf dem zuerst eingeschlagenen Wege sich als fruchtlos erwiesen hat, in unserer Zeit jedoch auf's Neue und, wie sich bald zeigen wird, mit besserem Erfolge fortgesetzt worden ist.

Von dem Principe ausgehend, dass man mit zwei Augen besser sieht als mit einem, hatte man schon früh versucht, die Fernrohre so einzurichten, dass man mit beiden Augen zugleich sah. Nach van Swinden (l. l. p. 47) hatte Lippershey, einer der Erfinder des Fernrohrs, schon 1609 einen solchen Binoculus hergestellt, und einen andern finden wir 1645 vom Capucinermönch Antonius Maria de Reita in der sonderbaren Schrift: *Oculus Enoch et Eliae sive Radius Sydereomysticus* etc. Antwerp. 1645, p. 340 beschrieben, die ausser den Dedicationen: *Deo optimo maximo* und *Augustissimo invictissimoque Caesari Ferdinando* III, für den zweiten Theil auch noch die Dedication: *Magnae matri Mariae* enthält. Im Jahre 1678 lehrte dann der Capuciner Cherubin (*De visione*

perfecta, sive de amborum visionis axium concursu in eodem objecti puncto. Paris. 1678, p. 77 bis 100) dieses Princip auch aufs Mikroskop anwenden, und er gab eine durch viele Abbildungen erläuterte ausführliche Beschreibung desselben (Fig. 268). Es hatte zwei kegelförmig zulaufende Röhren *B*, die durch Bügel gegen einander gehalten wurden und in einen

Fig. 268.



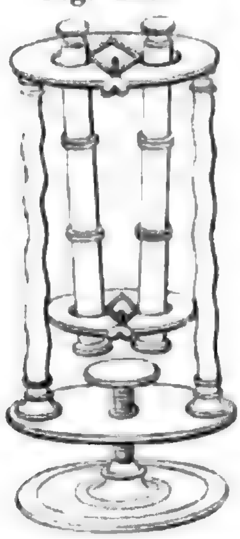
Binoculäres Mikroskop von Cherubin.

vierseitigen Behälter eingeschlossen waren. Nach unten ist ein Theil der beiden Röhren abgeschnitten, so dass sie hier nur Ein Rohr bilden. In jedem Rohre waren drei biconvexe Linsen enthalten, die paarweise im Durchmesser wie in der Brennweite mit einander übereinstimmten. Das Objecttivglas und das Ocular hatten beide die nämliche Brennweite, nämlich einen Zoll. Die Brennweite des mittleren Glases betrug $^1/_4$ Fuss. Beide Objecttivgläser waren am Rande so abgeschliffen, dass sie, wenn die abgeschliffenen Ränder an einander lagen, ein Ganzes bildeten. Cherubin stellt die Wirkung seines Instruments sehr hoch; es sollte selbst das damals berühmte Mikroskop Divini's übertreffen. Aus Bonannus (l. l. p. 15) ersieht man jedoch, dass die Zeitgenossen nicht so günstig darüber urtheilten. Aus der Art des Instruments erhellt es aber auch, dass es stets ein erfolgloses Bemühen sein wird, solche binoculäre Mikroskope zu verfertigen, die den monoculären gleichkommen oder sie gar übertreffen *).

*) Kastner (Geschichte der Mathematik. IV, S. 83) gedenkt eines nach Cherubin's Vorschrift eingerichteten binoculären Mikroskops, welches ein Capucinermönch Anian verfertigt hatte; dasselbe trägt die Jahreszahl 1711, und wurde in der Sammlung der Universität Göttingen aufbewahrt. Ueber dieses Instrument, so wie über zwei binoculäre Fernrohre desselben Anian, die ebenfalls in Göttingen aufbewahrt wurden, spricht sich Kastner folgendermaassen aus: „Mir ist bei den Proben, welche ich mit diesen Werkzeugen gemacht habe, nicht vorgekommen, dass der Vortheil, den sie geben, so viel werth sei als nur die Mühe, die man hat, das so zusammengesetzte Werkzeug zum Gebrauche vorzurichten." — Wie unvollkommen Cherubin's Instrument war, das ersieht man auch noch aus der Vorrede seines Buchs. Er sagt hier, man erzähle von einem Divini'schen Mikroskope, durch dasselbe sollte man ein Thierchen, viel kleiner als ein Sandkorn, mit Schuppen bedeckt und mit sechs Beinen versehen, erkennen, und diese Beobachtung hält er für so übertrieben und unglaublich, dass er ganz ausführlich die Unmöglichkeit derselben darthut.

Es beschäftigten sich auch noch andere mit der Herstellung binoculärer Mikroskope. So wird eines bei Bion (Mathematische Werkschule. Dritte Auflage, von J. G. Doppelmeyer vermehrt. Nürnberg 1726) beschrieben, während in der ersten Auflage dieses Buches nichts von binoculären Mikroskopen zu finden ist, und ein anderes kommt in der zweiten Auflage von Zahn's *Oculus artificialis* vor. In der äussern Einrichtung unterscheiden sie sich insofern, dass die beiden Mikroskope entweder wie in Fig. 269, in schiefer Richtung neben einander gestellt wurden, oder dass man sie zusammen in einen Kasten oder Behälter brachte, der selbst wieder in verticaler Richtung oder, wie bei Cherubin, in schiefer horizontaler Richtung zwischen zwei Stangen hing.

Fig. 269.



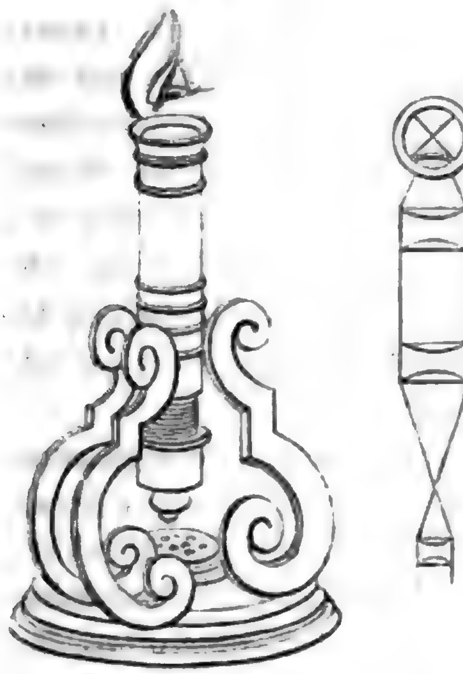
Ein anderes binoculäres Mikroskop.

422 Müssen nun auch diese Versuche als gänzlich misslungen angesehen werden, so fehlte es doch auch damals nicht an anderen, die mit besserm Erfolge gekrönt waren. Es wurde bereits bemerkt, dass die Hauptveränderung, welche Divini bei seinem Mikroskope vornahm, darin bestand, dass er zwei planconvexe Linsen mit einander zu einem Ocular vereinigte, um dadurch das zu erlangen, was man mit dem Namen ebenes Gesichtsfeld belegt, d. h. ein solches, wo sich am Rande des Gesichtsfeldes die Theile des Objects mit gleicher Deutlichkeit zeigen, wie in dessen Mitte. Bei anderen Mikroskopen aus jener Zeit hat man offenbar ein gleiches Ziel vor Augen gehabt. Besondere Erwähnung verdient es aber noch, das bereits damals Doublets als Objective benutzt wurden, weil man gefunden hatte, diese veranlassten bei der nämlichen Vergrösserung eine weniger starke sphärische Aberration, so dass ihre Oeffnung grösser gemacht werden konnte, um mehr Licht durchtreten zu lassen.

Im Jahre 1672 vereinigte Sturm (*Collegium experimentale sive curiosum.* Norimb. 1676. I, p. 142) eine planconvexe und eine biconvexe Linse zu einem Objectiv, ebenso auch zwei biconvexe Linsen von ungleicher Krümmung, und er rühmte nicht blos, dass er dadurch eine stärkere Vergrösserung bekam, sondern dass auch das Bild mit grösserer Schärfe hervortrat. Auch giebt Zahn (l. l. Ed. 2. p. 748. Vollst. Lehrgeb. d. Optik, S. 113) Nachricht von einem seiner Mikroskope, welches vier Linsen enthielt, die alle nur eine kurze Brennweite hatten, so dass das ganze Rohr, in welches sie gefasst waren, noch nicht einen Zoll Länge hatte. Von den beiden untersten als Objectiv dienenden Linsen war die eine biconvex, die andere planconvex, und diese berührten sich mit ihren Oberflächen. Beim Mikroskope Conradi's (Dreifacher Sehestrahl. Koburg 1710. S. 113) bestand das Objectiv ebenfalls aus zwei Linsen. Ebenso hatte Johann Franz Grindl von Ach (s. Zahn l. l. p. 234) im Jahre 1685 ein Mikroskop gemacht, bei dem Divini's Princip auf

alle Linsen in Anwendung gebracht wurde. Im Ganzen enthielt das in Fig. 270 abgebildete Instrument sechs planconvexe Gläser, die paarweise vereinigt waren, mit den convexen Flächen einander zugekehrt. Ueber dem Ocular befindet sich noch ein ganz plattes Glas. Es unterliegt wohl keinem Zweifel, dass diese Einrichtung vor jener früherer Mikroskope nicht nur, sondern auch jener, die über ein Jahrhundert nach Grindl hergestellt wurden, den Vorzug verdiente, und man dürfte sich wohl darüber wundern, dass sie nicht mehr in allgemeinen Gebrauch gekommen ist, wenn man nicht wüsste, dass es keineswegs leicht ist, die Linsen dergestalt zu vereinigen, dass ihre Axen genau in einer geraden Linie liegen, wie es doch durchaus nöthig ist, wenn das Bild rein und scharf sein soll. Grindl selbst wusste es und hat dafür auch einige Vorschriften gegeben.

Fig. 270.



Zusammengesetztes Mikroskop von Grindl von Ach.

Schon damals machte man auch, aber wie es scheint nur ausnahmsweise, zusammengesetzte Mikroskope mit mehreren Objectivlinsen von ungleicher Brennweite, um die Vergrösserung durch Wechsel der Objectivlinsen verändern zu können. In dem vorhin genannten Werke von Sturm, welches 1672 geschrieben ist, wird ein englisches Mikroskop erwähnt, dessen Verfertiger aber nicht genannt wird, zu welchem vier abnehmbare Objectivlinsen gehörten, zwei planconvexe und zwei biconvexe, die nach der Reihe in die für die Objectivlinse bestimmte Aushöhlung unten am Mikroskoprohre gebracht werden konnten.

Fig. 271.



Zusammengesetztes Mikroskop, bei Zahn abgebildet.

Schon in der ersten 1685 erschienenen Ausgabe von Zahn's *Oculus artificialis* (*Fundam.* III, p. 98) sind verschiedene zusammengesetzte Mikroskope abgebildet, und dabei die Maasse, die Brennweiten und die Abstände ihrer Linsen genau angegeben; er hat dabei besonders die Dioptrica von Dechales benutzt, und sowohl ein Mikroskop von diesem mit vier Linsen, als eins von Monconny mit drei Linsen beschrieben. Recht beachtenswerth sind die theoretischen Principien und die praktischen Regeln für die Herstellung zusammengesetzter Mikroskope in diesem Werke Zahn's, z. B. *Fundam.* II, p. 168, 176, 267. *Fundam.* III, p. 95 seq., die meistens auch noch für unsere Zeit benutzbar geblieben sind. In Fig. 271 ist eins von den zusammen-

gesetzten Mikroskopen dargestellt, die sich bei Zahn abgebildet finden, ohne dass aber der Verfertiger desselben genannt wird.

423 Hier ist nun auch der Ort, um mit ein paar Worten der damals und selbst schon früher vorgekommenen Versuche zu gedenken, Linsen mit parabolischen und hyperbolischen Oberflächen zu schleifen und dadurch die sphärische Aberration zu beseitigen, worin man nach damaligen Begriffen das alleinige Hinderniss fand, warum die dioptrischen Werkzeuge nicht bis zum höchsten Grade der Vollkommenheit gebracht wurden. Erst später kam man durch Newton zur Erkenntniss, dass die chromatische Aberration, welche keineswegs von der Form der Linsen bedingt wird, der Schärfe der Linsenbilder weit mehr Abbruch thut, als die andere Art von Aberration.

Dass man schon sehr frühzeitig von der grössern Tüchtigkeit parabolischer Linsen überzeugt war, wo es darauf ankommt, parallele Strahlen in einem Punkte zu vereinigen, dafür haben wir einen Beweis bei Porta, der in seiner *Magia naturalis.* 1607. p. 614 schreibt: *Parabolum crystallinum omnium vehementissime ignem accendere videbimus; omnibus enim radiis coincidentibus valentius speculo accendit.* Indessen gründete sich dieser Satz wohl mehr auf Theorie, als auf eine durch praktische Ausführung begründete Erfahrung.

Unter denen, die sich späterhin auf das Schleifen von Linsen für Fernrohre oder Mikroskope legten, begegnen wir mehreren, die auf Linsen mit parabolischer und hyperbolischer Krümmung bedacht waren, wie Rheita, dessen Instrument zum Schleifen hyperbolischer Linsen im *Oculus Enoch et Eliae* p. 340 beschrieben und abgebildet ist, ferner Hevelius, sodann Maignan, der am Schlusse seiner *Perspectiva horaria* ein solches Instrument beschreibt, Wren (*Philos. Transact.* Nr. 48 u. 53), Descartes (*Oeuvres par Victor Cousin.* Vol. 5, p. 137). Von den mancherlei zu diesem Zwecke ersonnenen Instrumenten scheint aber keins dem beabsichtigten Ziele entsprochen zu haben *).

424 Besser gelang es Gregory (*Optica promota.* Lond. 1663) und später Christian Huygens, die Gesetze der sphärischen Aberration festzustellen. Namentlich brachte Huygens (*Dioptrica*, p. 181 seq.) die von ihm ermittelten theoretischen Principien auch bei der Verfertigung von zusammengesetzten Mikroskopen in Anwendung. Er wies nach, wie

*) Bei Zahn (l. l. *Fund.* III. p 77) findet man erzählt, dass der König von Frankreich ein Fernrohr besessen habe, wofür dem Verfertiger 1000 Dukaten bezahlt worden wären. Es soll mit hyperbolischen Linsen ausgestattet gewesen sein, und obwohl es nicht über zwei Fuss Länge hatte, soll man doch damit den Saturn mit seinem Ringe (es steht dort *ansulis*) spannengross haben sehen können; ja selbst die übrigen Sterne sollen in unglaublicher Grösse sich dargestellt haben. Dieser letztere Zusatz ist aber ein Beweis dafür, dass man die ganze Erzählung blos für eine Fabel zu halten hat.

sich der Aberrationswinkel berechnen lässt, um daraus abzuleiten, wie weit die Oeffnung der Objectivlinse verengert werden muss, wenn man ein möglichst klares Bild bekommen will. Er hat auch dargethan, wenn zwei Mikroskope gleich stark vergrössern und ein Ocular von gleicher Brennweite haben, wobei aber das Objectiv des erstern eine kürzere Brennweite hat und näher dem Oculār sich befindet als bei dem zweiten, dass dann in jenem die Bilder schärfer und deutlicher hervortreten müssen; daraus folge aber die Regel, dass man, um die Objecte gut und klar wahrzunehmen, die Vergrösserung nicht dadurch herbeiführen soll, dass man den Abstand zwischen beiden Gläsern steigert, sondern vielmehr dadurch, dass man Objectivlinsen mit kürzerer Brennweite nimmt. An diese Regel hat man sich aber späterhin mehr und mehr gehalten, und gerade ihrer Beachtung ist ein guter Theil der weitern Vervollkommnung des zusammengesetzten Mikroskops beizumessen.

Man ersieht hieraus, dass man schon damals mancherlei Verände- 425
rungen und Verbesserungen im optischen Theile des zusammengesetzten Mikroskops anzubringen versuchte*), und dass die Wissenschaft mit der Erfahrung Hand in Hand ging, um das Instrument immer mehr zu vervollkommnen.

Die mechanische Einrichtung der damaligen Mikroskope liess vieles zu wünschen übrig. Die Annäherung zum Objecte bewirkte man entweder durch eine Schraube am untern Ende des Rohres, in welches die Linsen gefasst waren, oder durch eine Schraube, welche bei feststehendem Rohre das Object in Bewegung setzte. Der erstern Bewegungsweise gab man aber ziemlich allgemein den Vorzug: sie kommt an den Mikroskopen von Hooke, von Grindl und von vielen anderen vor. Zahn giebt eine Abbildung der letztern Einrichtung. Uebrigens hatten manche von den damaligen Mikroskopen, z. B. jenes von Hooke, eine solche Einrichtung, dass das ganze Rohr auch anders als blos senkrecht gestellt werden konnte.

Die Beleuchtung der Objecte war allgemein eine sehr unvollkommene. Durchfallendes Licht scheint man anfangs gar nicht benutzt zu haben; das Licht wurde über dem untersuchten Objecte concentrirt. Hooke's Beleuchtungsapparat wurde schon kurz erwähnt (S. 659, Fig. 267);

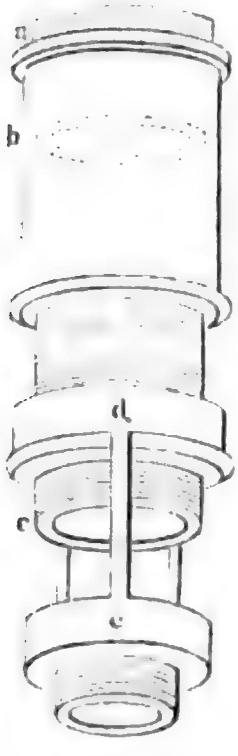
---

*) Ich habe nicht darüber ins Klare kommen können, wer zuerst das Mittelglas oder das Collectivglas beim zusammengesetzten Mikroskope in Anwendung gebracht hat. Hevelius gedenkt in seiner 1647 erschienenen Selenographia nur zweier Arten von Mikroskopen, die damals vorkamen, nämlich Mikroskope mit Einer Linse (*Vitra muscaria*) und zusammengesetzte Mikroskope mit zwei Linsen. Einige Jahre später indessen treffen wir das Zwischenglas an, und zwar, wie oben erwähnt, in Hooke's Mikroskope. Ohne Grund schreibt daher Martin (*System of Opticks* 1740. p. 42) seine Einführung Huygens zu, der allerdings das Ocular des Fernrohrs wesentlich verbessert hat durch Einführung und richtige Stellung eines zweiten Oculars, der aber in der Dioptrica nirgends von einem Mikroskope handelt, welches aus mehr denn zwei Linsen besteht.

er beschreibt übrigens sein Verfahren in der Vorrede zur *Micrographia* folgendermaassen. Die Untersuchungen stellte er in einem Zimmer an, worin sich nur Ein gegen Süden gelegenes Fenster befand. Drei bis vier Fuss von diesem Fenster stellte er sein Mikroskop auf, und das Licht liess er mittelst einer mit Wasser gefüllten Glaskugel *n* und einer dicken planconvexen Linse *t* auf das Object fallen. Schien die Sonne, dann brachte er ein geöltes Papier oder ein matt geschliffenes Glas vor das Object, und darauf liess er die Sonnenstrahlen mittelst eines Brennglases fallen. Abends benutzte er eine Lampe *m* und die schon erwähnte Glaskugel nebst der planconvexen Linse, und der Lampe gegenüber stand ein concaver Metallspiegel, durch den ein Theil der Strahlen wiederum reflectirt wurde. Späterhin (s. Hartsoeker, *Essay de Dioptrique*, p. 169) wurde die biconvexe Linse zur Beleuchtung der Objecte immer allgemeiner eingeführt.

Die nothwendige Folge davon, dass man die Objecte nur bei auffallendem Lichte beschaute, war die, dass man in der Anwendung stärker vergrössernder Objectivlinsen bald an einer Grenze anlangte, bei deren Ueberschreitung das von den Objecten reflectirte Licht, trotz aller zu seiner Verstärkung angewandten Mittel, zu schwach wurde, um die Objecte und deren Theile dabei noch gehörig unterscheiden zu können. Auch hatten die Objectivlinsen, welche die damaligen Optiker für ihre zusammengesetzten Mikroskope herstellten, meistens eine ziemlich grosse Brennweite von $^1/_2$ bis 1 Zoll, und sie konnten mithin nur ein schwach vergrössertes Bild liefern. Auch sind die Fälle nicht selten, ja sie kommen, wie wir jetzt wissen, am häufigsten vor, wo das Gefüge der Objecte sich weit besser bei durchfallendem Lichte als bei auffallendem Lichte erkennen lässt. Schon damals fehlte aber die Gelegenheit nicht, diese Wahrnehmung zu machen, da die einfachen Mikroskope, wie wir früher gesehen haben, alle gerade so eingerichtet waren, dass die Objecte vorzüglich bei durchfallendem Lichte betrachtet wurden.

Fig. 272.



Tortona's zusammengesetztes Mikroskop.

So einfach uns jetzt die Sache vorkommt, es war doch eine bedeutende Verbesserung, als man auch dem zusammengesetzten Mikroskope eine solche Einrichtung gab, dass es ebenfalls zu Beobachtungen bei durchfallendem Lichte benutzt werden konnte. Diese Verbesserung wurde zuerst im Jahre 1685 durch Carl Anton Tortona eingeführt, der in des Bonannus *Micrographia curiosa* als „*Summi pontificis* (*Alexandri* 8) *extra muros camerarius*" bezeichnet wird. Sein Mikroskop wurde von Ambrosius Langenmantell (*Miscellanea curiosa*. Decuriae II. Ann. 7. 1688. p. 442) beschrieben; es ist Fig. 272 abgebildet. Das Mikroskoprohr, worin sich bei *a* das Ocular, bei

b das Collectivglas und bei *c* das Objectiv befindet, die alle biconvex sind, hat nach unten einen Schraubendraht, wodurch es in dem Ringe *d* auf- und niedergeschraubt werden kann. Dieser Ring steht aber durch drei kleine Stäbe mit einem zweiten Ringe *e* in Verbindung, der nach unten enger wird und dort zwei runde Glasscheiben enthält, zwischen welche das Object zu liegen kommt. Will man das Mikroskop gebrauchen, so nimmt man das Rohr in die Hand und kehrt es dem Lichte zu.

Langenmantell lobte dies Instrument, dessen Beschreibung er gab, gar sehr; er schlug zugleich vor, das biconvexe Collectivglas durch zwei planconvexe Linsen zu ersetzen, deren gewölbte Flächen einander entgegen sähen, und fügte die richtige Bemerkung hinzu, dass man weiterhin auch Objectivlinsen mit stärkerer Krümmung benutzen könne.

Tortona fand auch bald Nachfolger, und zwar zuerst bei seinen Landsleuten Giuseppe Campana und Marco Antonio Celi. Ihre Instrumente unterscheiden sich aber nur dadurch vom Tortona'schen, dass sie zum Theil aus Messing verfertigt waren, und dass die Einrichtung zum Ausbreiten der Objecte bequem war.

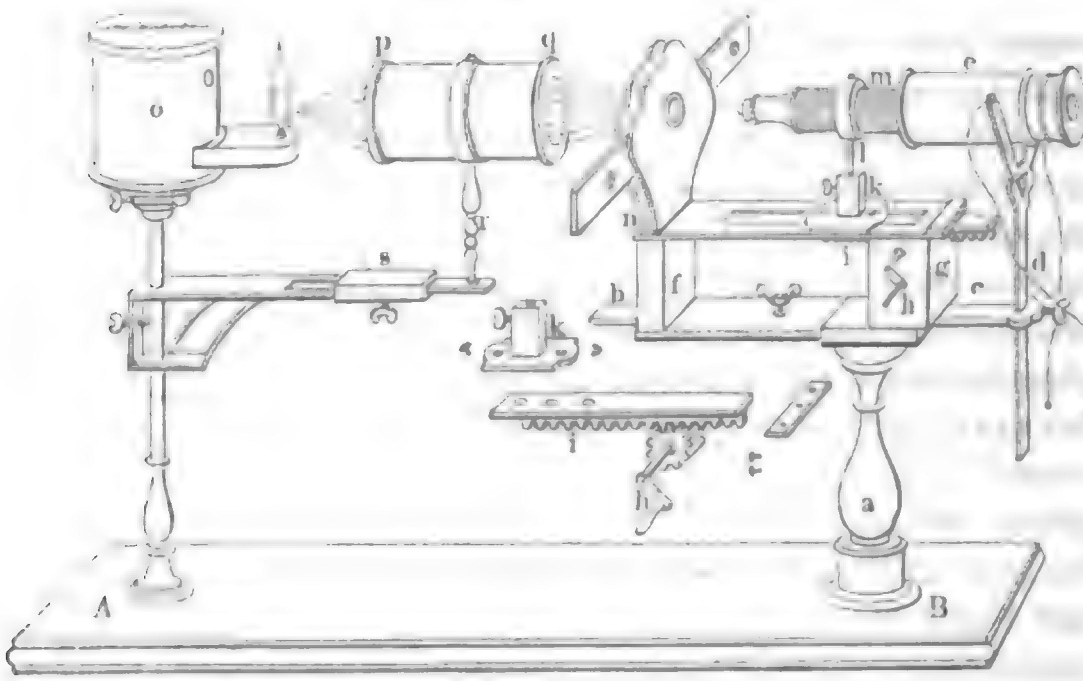
Bedeutender waren die Verbesserungen, welche Philippus Bonannus in der mechanischen Einrichtung anbrachte. In seiner 1691 erschienenen *Micrographia curiosa* giebt er die Beschreibung dreier Mikroskope, die sich in mehr denn einer Beziehung vortheilhaft von den früheren unterscheiden. Bei einem derselben befand sich unten am Fusse des Mikroskops eine Oeffnung, wie bereits bei Tortona, und auch zwei Täfelchen, die durch eine Spiralfeder zusammengedrückt wurden und das dazwischenliegende Object festhielten; man konnte also das Mikroskop in horizontaler Richtung gegen das Licht halten.

Noch zweckmässiger war ein anderes horizontales Mikroskop desselben eingerichtet, welches in Fig. 273 (a. f. S.) abgebildet ist, wo zuerst ein Trieb angebracht ist, um den Abstand zwischen Objectiv und Object verändern zu können. *AB* ist eine hölzerne Unterlage, auf welche die gedrechselte Säule *a* festgeschraubt ist, und auf letzterer ist das platte Stück *bc* befestigt, welches an dem einen Ende die Gabel *d* trägt zur Unterstützung des lose darauf liegenden Mikroskoprohrs *e*, während in der Mitte die senkrecht stehenden Theile *f* und *g* angebracht sind. Das Stück *h* ist ausgehöhlt und enthält ein gezahntes Rad, das durch die Handhabe *h* herumgedreht wird und in die gezahnte Leiste *i* eingreift; dadurch wird aber das Stück *k* in Bewegung gesetzt, in welches der Stachel *l* mit dem Ringe *m* eingesetzt ist. Dieser Ring enthält eine Mutterschraube, in welche die am Ende des Mikroskoprohrs angebrachte Schraube passt. Bei *n* befinden sich zwei vertikale Platten, zwischen welche die hölzernen Schieber mit den Objecten kommen. — Dieses Mikroskop war grossentheils aus Messing verfertigt, was bis dahin nur wenig gebräuchlich war; denn meistens pflegte man das Rohr aus Papier oder Pappe, das übrige aber aus Holz zu verfertigen.

Bonannus stellte seine Beobachtungen bei Tageslicht wie bei künst-

lichem Lichte an; er gab aber letzterem den Vorzug, und der zu seinem Mikroskope gehörige Apparat ist auch mit daneben abgebildet. Es ge-

Fig. 273.



Zusammengesetztes Mikroskop von Bonannus.

hörte dazu eine Lampe *o* und ein mit zwei biconvexen Linsen versehenes Rohr *pq*. Das Rohr ruhte aber auf der Stange *r*, und mittelst der Schraube *s* konnte es nach Willkür der Flamme genähert oder davon entfernt werden.

Wie unvollkommen auch dieses Mikroskop von Bonannus im Vergleiche mit unseren heutigen erscheinen mag, immerhin war damit in der mechanischen Einrichtung ein bedeutender Schritt vorwärts gethan *). Anlangend die optische Zusammensetzung, so gebrauchte er eigentlich drei verschiedene Mikroskopröhren; jede hatte drei biconvexe Linsen, die aber in ungleichem Maasse vergrösserten, und sie konnten nach der Reihe in den Ring *m* geschraubt werden, je nachdem man eine stärkere oder eine schwächere Vergrösserung haben wollte. Dies war offenbar eine Verbesserung; denn bis dahin hatte man die verschiedenartigen Vergrösserungen meistens dadurch zu Stande gebracht, dass man das Rohr, mithin den Abstand zwischen Objectiv und Ocular verlängerte, ein sehr unvollkommenes Mittel, wodurch zwar die Vergrösserung zunimmt, aber die Umrisse der Bilder an Schärfe verlieren. Bonannus gab daher mit Recht den stärkeren Objectivlinsen den Vorzug, wenngleich er noch nicht auf den Gedanken kam, blos durch deren Wechsel eine andere Vergrös-

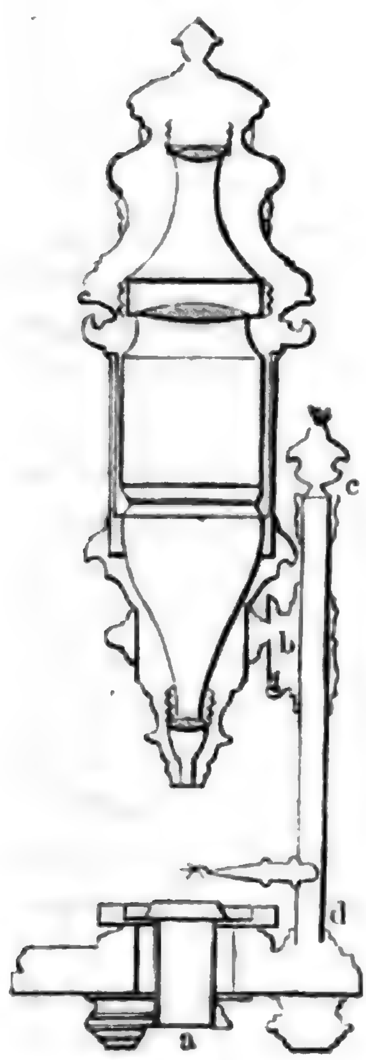
*) Die horizonatle Richtung haben auch andere dem zusammengesetzten Mikroskope gegeben. Im Vollständigen Lehrgebäude der Optik. Seite 412 und 413 sind zwei solche als holländische Mikroskope (der Verfertiger wird aber nicht genannt) beschrieben und abgebildet; das eine hatte zwei, das andere drei Gläser.

serung zu bewirken, was doch schon früher von anderen, wie vorhin erwähnt, in Ausführung gebracht worden war.

Die Mikroskope von Bonannus scheinen in der That recht gut gewesen zu sein, nach den oftmals ganz genauen Abbildungen zu urtheilen, die er von einer grossen Anzahl von Objecten giebt. So sind z. B. an den Flügelschüppchen mehrerer Schmetterlinge nicht selten die längslaufenden Streifen ganz deutlich angegeben. Auch übertraf sein Mikroskop offenbar die früheren im Vergrösserungsvermögen. Nimmt man einige seiner Abbildungen als Maassstab, so muss es wenigstens 200 bis 300 Mal vergrössert haben.

Im Aeussern mehr verziert, sonst aber nicht so zweckmässig eingerichtet waren Joblot's Mikroskope, wovon mehrere Arten in dessen *Descriptions et usages de plusieurs nouveaux microscopes* etc. Par. 1718 beschrieben sind. Sein zusammengesetztes Mikroskop ist Fig. 274 im Durchschnitte abgebildet und auch ohne ausführliche Beschreibung deutlich genug. Es verdient nur deshalb eine besondere Beachtung, weil es eine Annäherung zeigt zu den späterhin allgemein in Gebrauch gekommenen Mikroskopen mit einem stangenförmigen Stativ. Uebrigens war es darauf eingerichtet, die Objecte bei auffallendem wie bei durchfallendem Lichte zu beschauen. Für den letztern Fall hatte der Fuss bei *a* eine Oeffnung, die dem Lichte zugekehrt wurde. Die Annäherung zum Objecte geschah allein dadurch, dass das hohle Stück *b* an der Stange *dc* auf- und niedergeschoben wurde.

Fig. 274.



Joblot's zusammengesetztes Mikroskop.

Bei Joblot geschieht auch zuerst der *Microscopes universels* Erwähnung, unter welchem Namen man späterhin in der Regel solche Instrumente verstanden hat, die sich nach Willkür als einfaches und als zusammengesetztes Mikroskop benutzen lassen. Unter denen, welche Joblot beschreibt, passt dies aber nur auf ein einziges; die übrigen konnten nur mit Einer Linse benutzt werden, und die ganze Einrichtung bietet auch nichts Auffallendes dar, da sie ganz einfach darin bestand, dass in ein solches Mikroskop, wie es Seite 616, Fig. 229 dargestellt ist, statt der einzelnen Linse das ganz kurze Rohr eines zusammengesetzten Mikroskops geschraubt wurde.

Endlich hat Joblot auch noch ein Instrument beschrieben, worin,

wenngleich es nicht mehr denn 5 Linsen enthielt, drei verschiedene Mikroskope und zwei Fernrohre vereinigt waren*).

Um die nämliche Zeit verfertigte Marshall in England sein Mikroskop (Fig. 275), welches vor den bisherigen einige Vorzüge bietet. Eine vierseitige Stange *a*, die nach unten in eine ziemlich grosse Kugel *b* ausging, lagerte mit dieser in einer napfförmigen Aushöhlung, so dass ein Kugelgelenk entstand, welches gestattete, dass die Stange mit sammt dem daran befestigten Mikroskoprohre *c* und dem Objecttische *d* in alle möglichen Richtungen, die horizontale nicht ausgeschlossen, gebracht werden konnte. Das breite aber kurze Mikroskoprohr wurde von dem Arme *e* getragen, der durch die Schraube *f* höher und tiefer gestellt werden konnte. Der länglich-viereckige Objecttisch *d* bestand aus einem mit einer Glasplatte bedeckten Rahmen, und durch die beiden Arme *g* und *h*, die zwischen zwei runden Scheiben sich bewegten, war er dergestalt mit der Stange des Mikroskops verbunden, dass die Arme hin- und hergeschoben werden konnten und der ganze Objecttisch sich herumdrehen liess. Zur Beleuchtung mit durchfallendem Lichte wurde das Mikroskop bei Tage gegen den Himmel gerichtet, Abends aber wurde es vertical gestellt, und das Licht einer darunter befindlichen Kerze wurde durch die Linse *s* noch mehr concentrirt.

Man ersieht hieraus, dass beim praktischen Gebrauche Marshall's Mikroskop viele Bequemlichkeiten und Vortheile darbot, wodurch es sich vor den früheren, selbst vor jenem des Bonannus auszeichnete, vornehmlich auch deshalb, weil die veränderte Vergrösserung durch einen Wechsel der Objectivlinse zu Stande gebracht wurde.

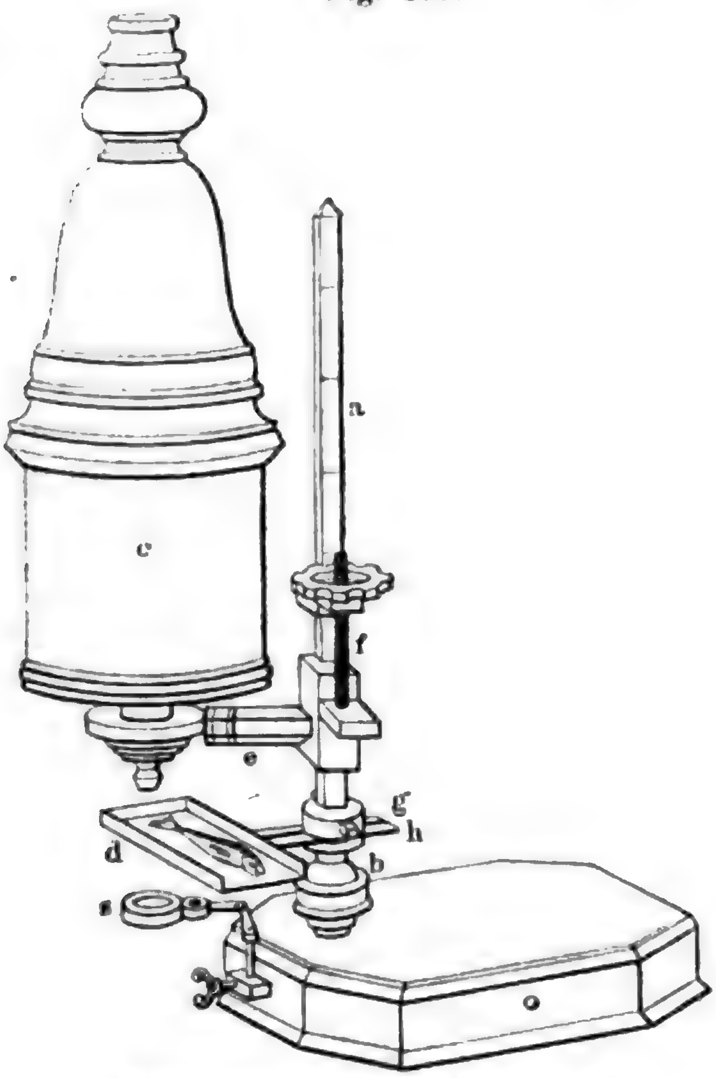
Die ganze Einrichtung dieses Mikroskops, wenngleich es ziemlich grob und plump ausgeführt ist, nähert sich offenbar schon jener der spätern Mikroskopstative. Ein wesentlicher Bestandtheil fehlte ihm aber noch, nämlich der Spiegel. Es muss uns aber in der That Wunder nehmen, dass der augenscheinlich so einfache Gedanke, das Gesichtsfeld durch einen die Lichtstrahlen reflectirenden Spiegel zu beleuchten, erst so spät bei den Verfertigern von Mikroskopen sich Geltung verschaffte; dies um so mehr, da man übrigens damals bei optischen Instrumenten mancherlei Art sehr häufig Spiegel anwandte, und da man sogar bereits damals, wie wir später sehen werden, den Vorschlag gemacht hatte, das Sonnenmikroskop mit einem Spiegel zu versehen.

Während Joblot in Frankreich und Marshall in England ihre Mikroskope verfertigten, hatte in Deutschland Hertel (Anweisung zum Glasschleifen. Halle 1715) wirklich ein Mikroskop zu Stande gebracht,

*) Man machte damals viel Aufsehen aus solchen Curiositäten. Bei Zahn (l. l. p. 271) ist als *Panscopium* ein Apparat beschrieben, welcher nicht weniger als zehn besondere optische Instrumente enthielt, nämlich zwei Arten von Camera obscura, ein Helioskop, ein Mikroskop, ein Polemoskop und mehrere Arten von Teleskopen, mit einzelnen Convexgläsern oder mit Concav- und Convexgläsern.

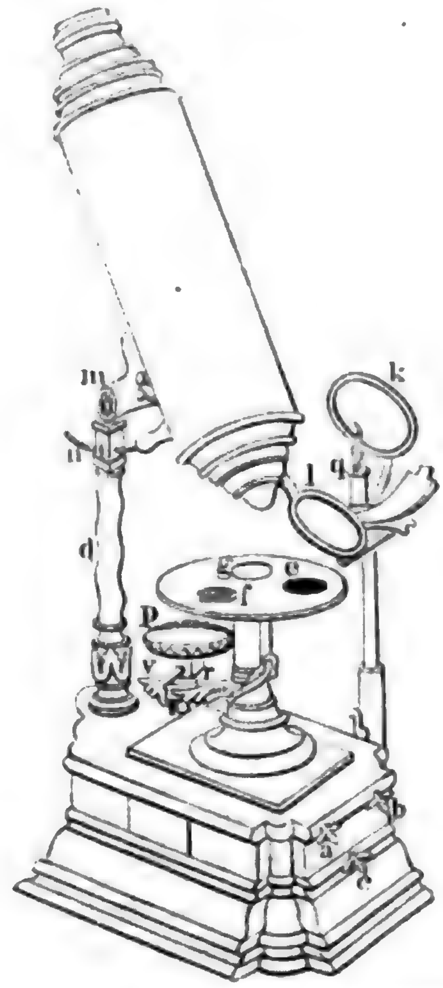
das mit einem Spiegel versehen war, und dessen ganze mechanische Einrichtung vorzüglicher war als bei allen früheren Mikroskopen, ja selbst viel spätere übertraf (Fig. 276). Das Mikroskoprohr konnte durch eine Charnierbewegung bei *m* und durch die gekrümmte Schraube *n* in verschiedene Richtungen gebracht werden. Auf einem hohen vierseitigen Fussstücke stand mittelst eines runden Säulchens ein besonderer Objecttisch. Durch drei Griffe *a*, *b* und *c* liess sich dieser Objecttisch in drei

Fig. 275.



Zusammengesetztes Mikroskop von Marshall.

Fig. 276.



Zusammengesetztes Mikroskop von Hertel.

verschiedenen Richtungen bewegen: durch *a* nach oben und nach unten, um das Object in die gehörige Entfernung von der Linse zu bringen; durch *b* in horizontaler Richtung nach der Säule oder der Stange *d*, womit der Körper des Mikroskops verbunden war, oder davon weg; durch *c* endlich liess sich der Objecttisch um seine Axe drehen. Der Mechanismus für diese drei Bewegungen, aus verschiedenen Schrauben und Rädern bestehend, war im Fussstücke verborgen. Am Objecttische waren ausserdem noch drei runde Felder gesondert: zwei derselben waren für undurchsichtige Objecte bestimmt, und davon hatte *g* eine Elfenbeinplatte, *e* eine Ebenholzplatte; das dritte Feld *f* war leer und für durchsichtige Objecte bestimmt. Unter dem Felde *e* befand sich ein ebener Spiegel *p*, der durch die Schraube *v*, welche in die Zähne eines in dem Säulchen *r* verborgenen Rades griff, in alle Richtungen gebracht wer-

den konnte, um das Licht aufzufangen und auf das Object zu reflectiren. Zur Beleuchtung undurchsichtiger Objecte dienten der concave Metallspiegel *k* und die Linse *l*, zwischen denen eine Lampe aufgehangen war.

Wir begegnen bei diesem Mikroskope zum ersten Male bedeutenden Verbesserungen. Diese sind: 1. ein frei für sich dastehender Objecttisch, der durch mechanische Mittel herumgedreht und in einer horizontalen Richtung bewegt werden kann; 2. ein Spiegel zur Beleuchtung durchsichtiger Objecte; 3. Schrauben- und Netzmikrometer, von denen später die Rede sein wird, fügte Hertel seinem Mikroskope auch bereits bei.

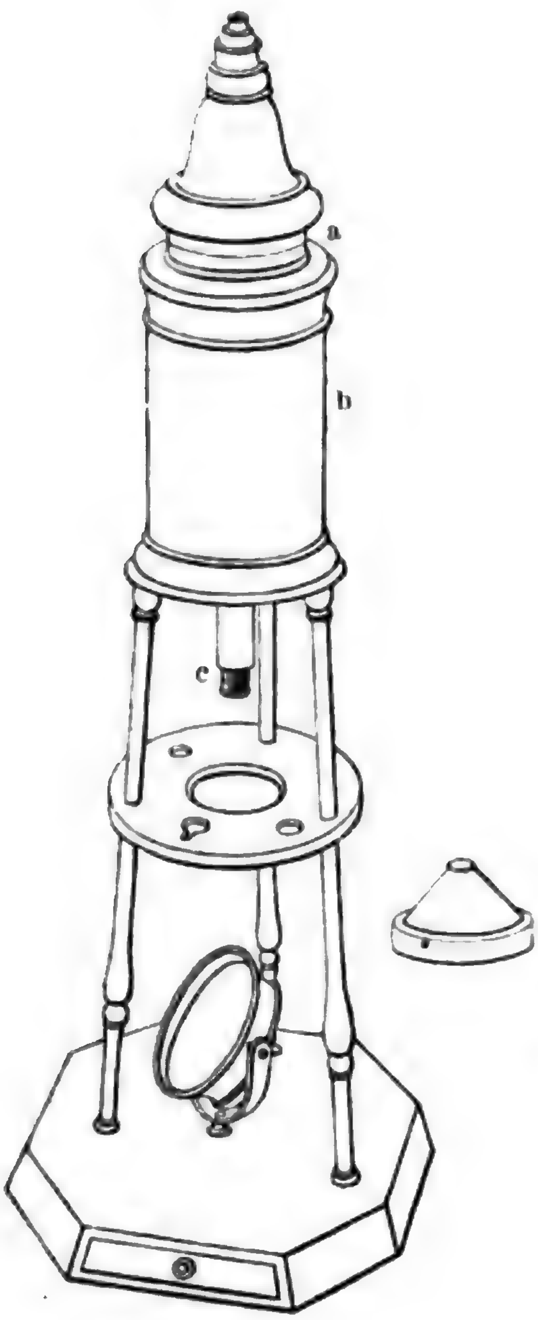
426 Hertel's Mikroskop, wie vortrefflich es auch in mehr als einer Beziehung war, scheint gleichwohl nicht allgemein bekannt geworden zu sein, wahrscheinlich deshalb, weil es in Folge der zusammengesetzten Einrichtung kostbarer war. Wenigstens erst mehrere Jahre später bekam das zusammengesetzte Mikroskop von Culpeper und Scarlet in London (Fig. 277) ebenfalls einen Spiegel*). Neu ist aber bei diesem Mikroskope die Beigabe eines Kegels *A* aus Ebenholz, der unten an den Objecttisch kommen kann, um dadurch das Licht zu mässigen. Dieses Mikroskop, welches lange Zeit hindurch im allgemeinen Gebrauche blieb, hatte übrigens eine sehr einfache Einrichtung, wie man aus der Abbildung auch ohne weitere Erklärung ersieht. Die Veränderung des Abstandes zwischen Objectiv und Object wurde dadurch bewirkt, dass das Rohr *a*, welches in dem weiteren Rohre *b* gleitet, mehr oder weniger ausgezogen wird, oder dass die Schraube umgedreht wird, wodurch das die Objectivlinse enthaltende Röhrchen *c* an den engern Theil des Mikroskoprohrs befestigt ist. Diese Bewegungsmittel waren freilich wenig geeignet zu einer feinen Einstellung. Aber auch in anderen Hinsichten schien das Gestell dieses Mikroskops nicht ganz zweckmässig zu sein, und das war der Grund, weshalb Cuff, die von Baker (*Employment for the microscope.* London. 1753) gegebenen Winke benutzend, eine andere Einrichtung einführte, welche bei den meisten Stativen späterer Mikro-

*) Genau kann ich die Zeit nicht angeben, wann dieses sogenannte doppelt reflectirende oder Spiegelmikroskop in England verfertigt worden ist. Die erste Nachricht darüber finde ich bei Smith (*Opticks*, II. 407), also vom Jahre 1735. Den im Jahre 1739 erschienenen *Beginsels der Natuurkunde door Petrus van Musschenbroek* ist ein Preiscourant der Instrumente seines Bruders Johannes angehängt, und hier werden ausser den oben (S. 606) besprochenen einfachen Mikroskopen noch aufgeführt: a) ein Apparat mit neun Vergrösserungsgläsern, um durch Ein Glas oder durch zwei Gläser zugleich zu sehen; b) ein neuer Doppelapparat, hoch und unten mit einem Spiegel versehen, womit man durch drei Gläser zugleich die Objecte sieht. Das letztere Instrument war also ein zusammengesetztes Mikroskop, das mit einem Beleuchtungsspiegel versehen war. Man hat denselben also in Holland angewandt, bald nachdem diese Verbesserung in England eingeführt worden war.

skope, ja selbst bei vielen der jetzt noch gebräuchlichen zu Grunde gelegt wurde *).

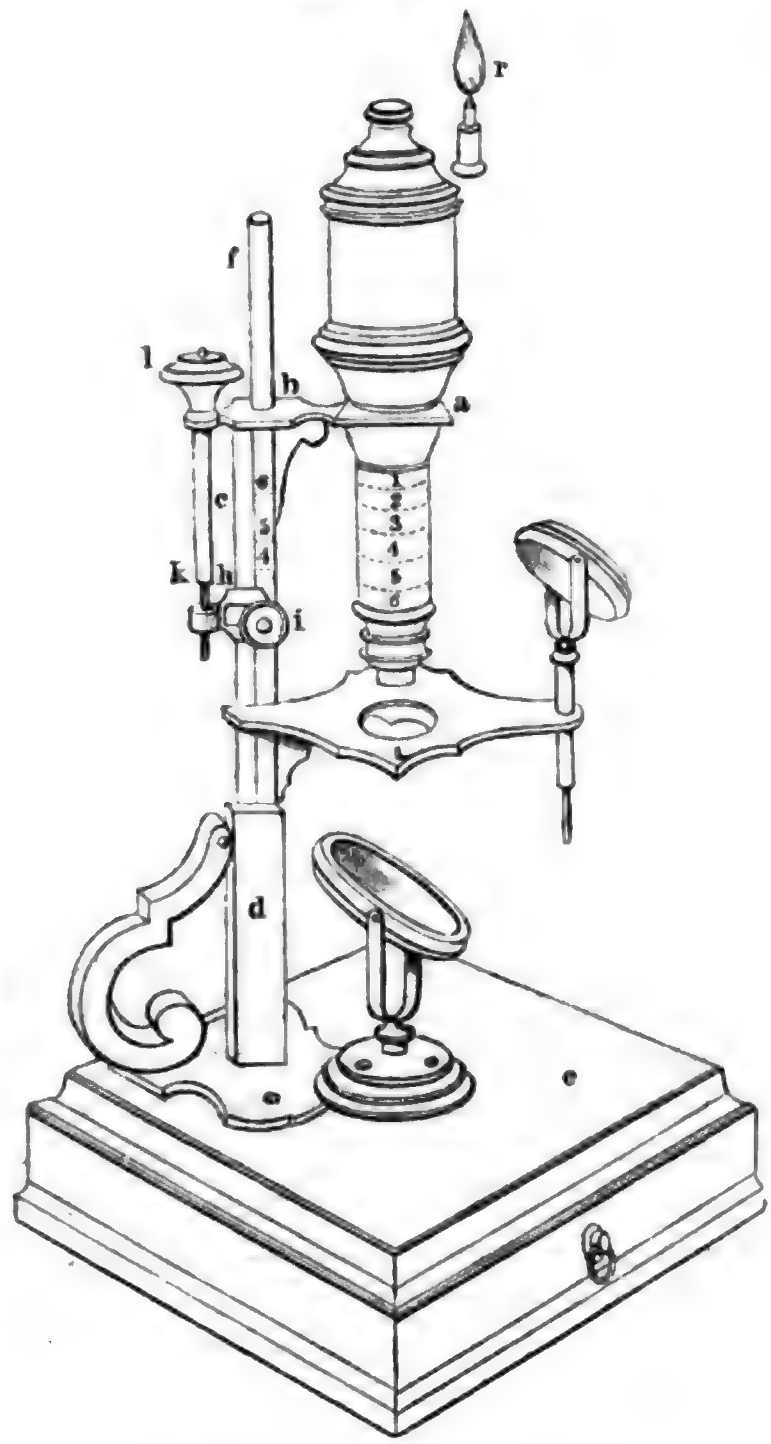
Bei Cuff's zusammengesetztem Mikroskope (Fig. 278) hängt das Rohr unbeweglich in dem Ringe *a* am Arme *b*, der oben an der Stange *c*

Fig. 277.



Zusammengesetztes Mikroskop
von Culpeper und Scarlet.

Fig. 278.



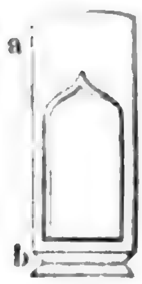
Zusammengesetztes Mikroskop
von Cuff.

sitzt. Ein messingenes vierseitiges Rohr *d*, welches auf dem Kästchen *e* festgeschraubt ist, trägt das ganze Instrument mittelst der platten vierseitigen Stange *f*, welche unbeweglich darin steckt. Dagegen ist die

*) Ich will bemerken, dass Meyen (Kurzer Unterricht von der Beschaffenheit und dem Gebrauche der Vergrösserungsgläser und Teleskopien. Dresden. 1747. S. 16) angiebt, es sei dieses Stativ von dem englischen Künstler George Sterrop

kürzere Stange *c*, die den Arm *b* mit dem Mikroskoprohre trägt, beweglich; sie gleitet auf der breiten Seite der Stange *f* und tritt nach unten in das Rohr *d*. Das vierseitige Band *h* vereinigt die beiden Stangen *c* und *f* und kann durch die Klemmschraube *i* festgestellt werden. Es wird nämlich die Stange *c* nach oben geschoben, bis der obere Rand des Bandes *h* einer der eingeschnittenen Linien 4, 5, 6 u. s. w. entspricht, durch welche so ziemlich die Brennweite der verschiedenen Objective angegeben ist, und dann wird das Band *h* durch die Schraube festgestellt. Neben dieser gröbern Einstellung ist aber auch noch eine feinere angebracht durch die Schraube *k*, welche mit dem geränderten Knopfe *l* versehen ist. Die Einrichtung des Objecttisches, des Spiegels u. s. w. erhellt genugsam aus der Figur und bedarf keiner besondern Beschreibung. Ich habe nur noch hinzuzufügen, dass bei diesem Mikroskope auch das concave Spiegelchen (Fig. 279) für undurchsichtige Objecte benutzt wurde, das früher allein beim einfachen Mikroskope angewendet wurde. Dieser Hohlspiegel *b* wurde unten an eine zu beiden Seiten theilweise offene Röhre *a* befestigt, die je nach der Brennweite des benutzten Objectivs höher nach oben oder weiter nach unten über den engern Theil des Mikroskoprohrs geschoben wurde, und zu diesem Zwecke waren daran mehrere den verschiedenen Objectiven entsprechende Linien eingeschnitten.

Fig. 279.



Hohlspiegelchen für auffallendes Licht zu Cuff's Mikroskope.

427 Von jetzt an nahm die Zahl der Mikroskopverfertiger in den verschiedenen Ländern Europas so sehr zu, dass es nicht möglich ist, bei einem jeden ausdrücklich zu verweilen und die verschiedenen, oftmals unbedeutenden Modificationen aufzuführen, die sie in dem einen oder dem andern Abschnitte des mikroskopischen Apparates haben eintreten lassen. Nur auf die bedeutenderen Mikroskopverfertiger lasse ich mich ein, namentlich auf jene, deren Mikroskope zumeist in Gebrauch gewesen sind, oder die einigermaassen erhebliche Verbesserungen oder Beigaben ersonnen haben.

Von **Steiner** ist schon oben (S. 615) angeführt worden, dass er das **Wilson**'sche einfache Mikroskop mit einer geringen Veränderung nachmachte; derselbe hat auch mit dessen Benutzung ein *Microscopium universale* hergestellt, d. h. ein solches, welches nach Willkür als einfaches oder als zusammengesetztes Mikroskop in Gebrauch gezogen wer-

erfunden worden, und auf Tafel VI bildet er dann als solches genau das Cuff'sche Mikroskop ab, das man bei ihm um einen billigen Preis erhalten könne. Ueber die Richtigkeit dieser Angabe vermag ich nichts zu entscheiden. Wie es sich aber auch damit verhalten mag, wenigstens ist dieses Mikroskop späterhin allgemein als Cuff'sches bekannt geworden, und dazu mag die grosse Verbreitung des Werks von Baker, welches in verschiedene Sprachen übersetzt worden ist, viel beigetragen haben.

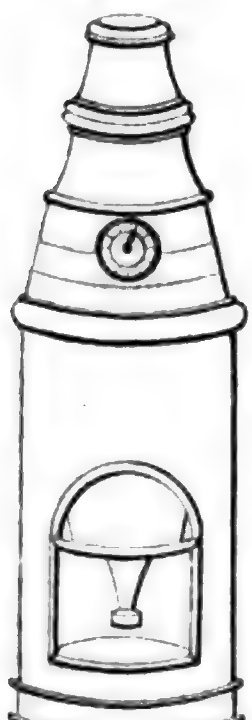
den konnte. Zu dem Ende brachte er über die Linsen des einfachen Mikroskops ein Rohr, worin die beiden Oculare enthalten waren. Das Rohr aber wurde an einer besondern Stange befestigt, die auf jene des einfachen Mikroskops kommen konnte. Siehe die von Steiner besorgte Uebersetzung von Baker: Das zum Gebrauch leicht gemachte Microscopium u. s. w., dem beigefüget eine Nachricht vom Polypo u. L. Steiner's Beschreibung seines neuerfundenen Universal-Microscopii. Zürich 1756.

Eine ähnliche Einrichtung machte Jacob Lommers in Utrecht, mit dem Unterschiede jedoch, dass das die Oculare enthaltende Rohr unmittelbar auf jenes Rohr geschraubt wurde, welches die Linse umschloss. Ich habe zwei solche Instrumente von Lommers gesehen, das eine mit der Jahreszahl 1751, das andere mit der Jahreszahl 1760.

Ein anderes *Microscopium universale* ersann sich von Gleichen. Dasselbe findet man bei Ledermüller (Mikr. Gemüths- u. Augenergötzung u. s. w.) umständlich beschrieben und abgebildet. Seine Einrichtung war aber gewiss nicht so zweckmässig als bei den bereits genannten.

Um die nämliche Zeit wurden in England von Benjamin Martin, einem Manne, der theoretisches Wissen mit praktischer Erfahrung vereinigte, mehrerlei Mikroskope verfertigt. Sein Taschenmikroskop (*Description and use of a Pocket reflecting microscope.* Lond. 1739. *Philosophia Britannica* 1740. III, Tab. 46 *), welches in Fig. 280 dargestellt ist, war sehr einfach zusammengesetzt; ihm war ein Schraubenmikrometer beigegeben, worauf wir später zurückkommen. In diesem Martin'schen Mikroskope erkennt man übrigens die erste gröbere Form vieler Mikroskopgestelle, die noch in späterer Zeit im Gebrauch geblieben sind.

Fig. 280.



Martin's Taschenmikroskp.

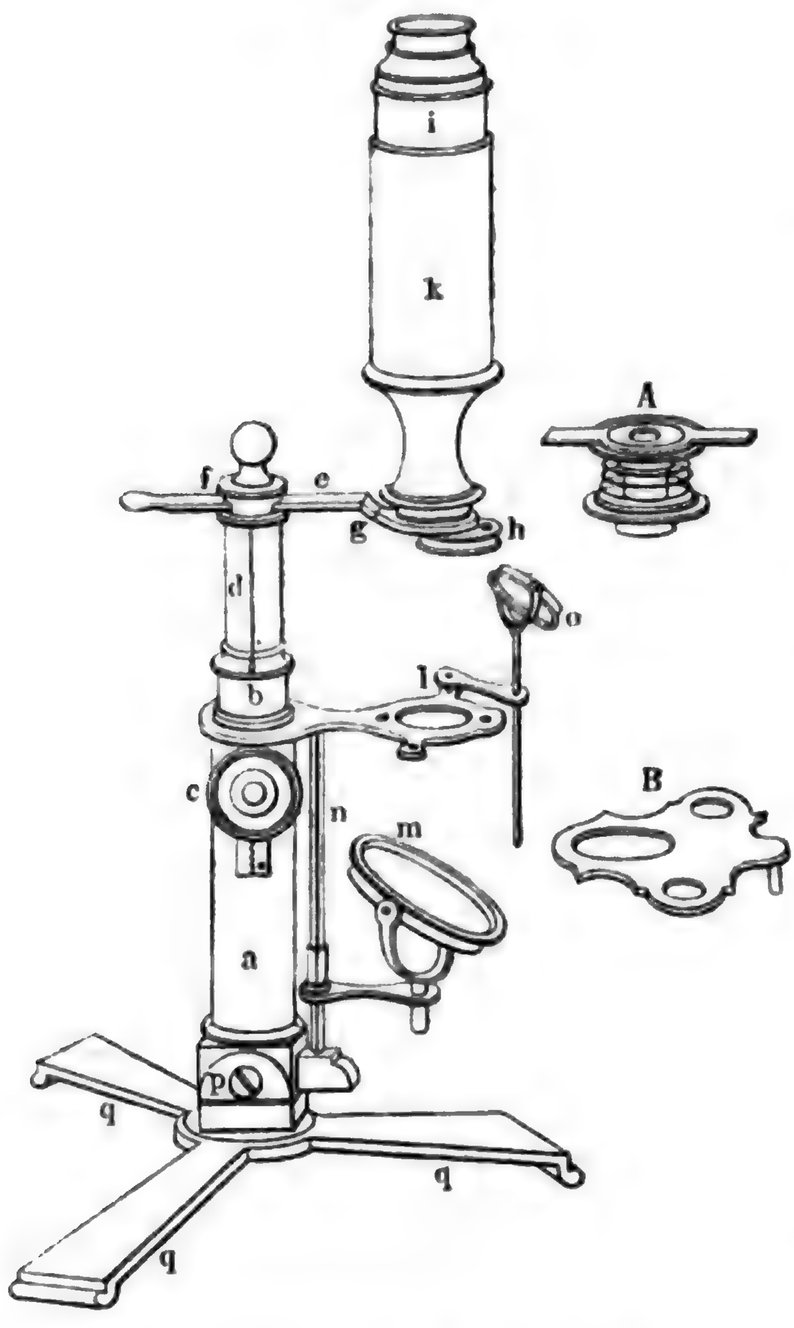
Martin beschrieb auch ein Mikroskop, wo sich zwischen den beiden biconvexen Objectiv- und Ocularlinsen ein biconcaves Glas befand (*System of Opticks.* 1740. p. 212). Diese Einrichtung war aber nicht neu. Wir haben gesehen, dass sie schon an Fontana's Mikroskope vorkam, und vor Martin hatte auch noch Conradi (Dreifacher Sehestrahl. Coburg 1710. S. 109) ein Mikroskop in dieser Art eingerichtet. Auch das von Martin (*New Elements of Opticks.* 1759. p. 50) beschriebene Mikroskop mit vier Linsen konnte nicht auf Neuheit Anspruch machen, da schon früher (S. 663)

*) Am Ende dieses Bandes der *Philosophia Britannica* steht, das *New invented Pocket reflecting microscope* mit dem Mikrometer zusammen koste 1 Guinee, und ohne den letztern 10 Schilling 6 Pence. Die englischen Mikroskope waren also damals wohlfeiler als jetzt.

dergleichen verfertigt wurden. Endlich können auch die sogenannten polydynamischen Mikroskope Martin's (*Microscopium polydynamicum, or a new construction for the microscope.* London 1771) nicht als seine Erfindung gelten; es waren dies nur Fernrohre, die man durch Ausziehen der Rohre in Mikroskope verwandelte, und das war schon viel früher bekannt gewesen und von Wolf (*Elementa Dioptricae*, §. 454) anempfohlen worden.

Dagegen unterscheidet sich sein Neues Universalmikroskop in manchen Hinsichten von den Instrumenten seiner Vorgänger. Die erste Beschreibung und Abbildung desselben fällt auf das Jahr 1759 (*Philosophia Britannica* III, p. 400). Er verbesserte es aber weiterhin noch und in der *Description of a New Universal Microscope.* London 1776, gab er davon eine neue Beschreibung *). Die optische Einrichtung dieses Mikroskops (Fig. 281) ist folgende. Das Ocular besteht aus drei planconvexen Gläsern, von denen die beiden obersten einander die Convexität zukehren. Zwischen dem Ocular und der biconvexen Objectivlinse befindet sich aber noch eine planconvexe Linse, so dass es im Ganzen fünf Linsen sind. Die mechanische Einrichtung ist auch in mehr denn einer Hinsicht eine andere als beim Cuff'schen Mikroskope. Das Stativ *a* ist eine runde hohle Säule oder Röhre (bei anderen Martin'schen Mikroskopen ist es aber auch dreiseitig, wie bei Plössl's Mikroskopen); darin

Fig. 281.



Universalmikroskop von Benj. Martin.

*) In der Vorrede zu dieser Beschreibung gedenkt Martin eines kleinen zusammengesetzten Mikroskops, mit dessen Verfertigung er sich damals beschäftigte,

wird ein zweites Rohr *b*, welches gezahnt ist, durch den geränderten Knopf *c* auf- und niederbewegt; in dem zweiten Rohre aber steckt wieder ein drittes *d*, mittelst dessen die gröbere Einstellung erzielt wird. Das dritte Rohr trägt den Arm *e* mit dem Mikroskoprohre, und dieser Arm lässt sich in dem Ausschnitte bei *f* hin- und herschieben. Das Mikroskoprohr wird in den Ring *g* geschraubt; unter diesem befindet sich aber eine drehbare Scheibe *h* mit sechs Objectivlinsen von verschiedener Brennweite. Man kann aber auch diese Scheibe wegnehmen und anstatt derselben verschiedene in Röhrchen gefasste Objectivlinsen unten an den Ring anschrauben. Das Mikroskoprohr besteht eigentlich wieder aus zwei Röhren *k* und *i*; die innere Röhre *i* umschliesst die drei Augengläser und sie lässt sich ausziehen, um die Entfernung zwischen dem Objectiv und dem Ocular zu vergrössern. (An manchen Martin'schen Mikroskopen hat das äussere Rohr eine Rinne und eine gezahnte Stange und die innere ist mit einem Triebe versehen, so dass sich die innere Röhre durch Umdrehen eines geränderten Knopfes höher und tiefer stellen lässt.)

Der Objecttisch *l* hat eine grosse Oeffnung, um mehrere zu diesem Mikroskope gehörige Hülfswerkzeuge einsetzen zu können, z. B. die bei *A* abgebildete Klemmfeder, oder die bei *B* dargestellte freie Objecttafel mit drei Oeffnungen von verschiedenem Durchmesser; ferner auch eine durch ein Rad und einen Trieb sich umdrehende Objecttafel, sowie ein Schraubenmikrometer, auf welche beide noch weiterhin zurückzukommen ist.

Der Spiegel *m* ist an einem besondern Arme angebracht, der an der Stange *n* auf- und niedergleitet, und auch herumgedreht werden kann, wenn das Licht schief auf das Object fallen soll. Zur Verstärkung des Lichts kann noch eine besondere, in der Figur nicht mit aufgenommene Linse unter den Objecttisch kommen. Für auffallendes Licht aber ist die Linse *o* bestimmt.

Endlich kann dieses Mikroskop nicht blos vertical gestellt werden, sondern es kann auch in die horizontale oder in andere dazwischen liegende Stellungen kommen, indem sich bei *p* ein Charnier befindet, durch welches das Stativ mit dem Dreifusse *qqq* in Verbindung steht.

Will man ein einfaches Mikroskop haben, so braucht man nur das Mikroskoprohr aus dem Ringe *g* herauszunehmen und es durch eine zum Mikroskope gehörige einfache Linse zu ersetzen, deren Röhrchen in die Oeffnung des Ringes passen.

---

welches die Objecte 2000 bis 5760 Mal im Durchmesser vergrösserte, und dem er den Namen „des Virtuosen optischer Apparat" zugedacht hatte. Es ist mir unbekannt, ob dieses Mikroskop jemals aus Martin's Händen gekommen ist. Die so starke Vergrösserung lässt vermuthen, dass keine Linsen, sondern kleine Glaskügelchen zum Objectiv benutzt wurden.

Ich habe ein solches Martin'sches Mikroskop untersucht, und dabei Folgendes gefunden:

Abstand des obersten Oculars von der Objectivlinse bei Ausziehung des Verlängerungsrohrs . .	29 Centimeter
Desgl. ohne Ausziehung des Verlängerungsrohrs . .	22 »
Brennweite der stärksten Linse des Mikroskops . .	5,8 Millimeter
Oeffnungswinkel dieser Linse	11°
Grösse des Gesichtsfeldes für 25 Centimeter Sehweite	204 Millimeter
Vergrösserung mit der stärksten Linse bei der nämlichen Sehweite ohne Benutzung des Verlängerungsrohrs	148 Mal
Desgl. mit Benutzung des Verlängerungsrohrs . .	220 »

Die Bilder haben nur eine geringe Schärfe. Auch auf den Schüppchen solcher Schmetterlinge, wo die Streifen, wie bei *Noctua nupta*, leicht zu erkennen sind, bemerkt man keine Spur davon; ebensowenig erkennt man die Striche der ersten Gruppe eines Nobert'schen Probetäfelchens. Dagegen sind die zum einfachen Mikroskope gehörenden Linsen scharf und hell. Die beiden stärksten vergrössern 128 und 198 Mal.

428 In England haben sich während des übrigen achtzehnten Jahrhunderts noch die beiden Adams (Vater und Sohn), Jones, Dollond (Vater und Sohn), Mann in der Verfertigung von Mikroskopen ausgezeichnet.

Ueber das Adams'sche Lampenmikroskop ist hier nicht der Ort zu sprechen. Ihre zusammengesetzten Mikroskope gehören aber zu den besten jener Zeit. Sie sind nach dem Muster des Cuff'schen Mikroskops eingerichtet, nur wird nicht der Mikroskopkörper durch ein Triebwerk auf- und niederbewegt, sondern der Objecttisch. Zur Beleuchtung dient ein Spiegel, der auf der einen Seite eben, auf der andern concav ist. Später nahm der jüngere Adams mit den Objectivlinsen die Veränderung vor, dass sie nicht in besondere Röhrchen, sondern in eine messingene Scheibe gefasst wurden, die man in einen unten am Mikroskopkörper dafür angebrachten Ausschnitt schob. Mittelst einer Stahlfeder, welche in die kleinen Einkerbungen eingriff, die in bestimmten Entfernungen an der messingenen Scheibe angebracht waren, kam die Objectivlinse immer in die Axe des Mikroskops zu liegen.

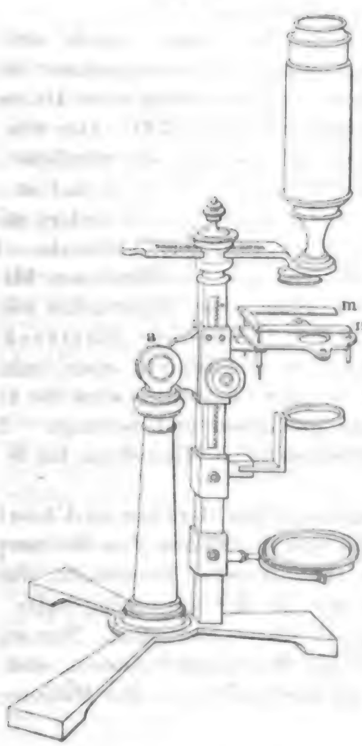
Bei Untersuchung eines Mikroskops vom ältern Adams erhielt ich folgende Werthe:

Brennweite der stärksten Linse Nr. 1	3,2 Millimeter
Abstand des obersten Oculars von der Objectivlinse	13 Centimeter
Durchmesser des Gesichtsfeldes bei 25 Centimeter Sehweite	16 »
Vergrösserung mit der Linse Nr. 1	150 Mal.

Bei dieser Vergrösserung sieht man die Längsstreifen auf den Flügelschüppchen von *Noctua nupta* ziemlich gut. Dieses Mikroskop zeichnet sich also vor dem Martin'schen durch grössere Helligkeit und grössere Schärfe des Bildes aus; dagegen steht es diesem nach hinsichtlich der Grösse des Gesichtsfeldes.

Die früheren Mikroskope von Jones stimmen grossentheils mit jenen von Adams überein. Eine spätere Verbesserung von Jones (Fig. 282) bestand darin, dass er sowohl den Körper des Mikroskops wie den Objecttisch und den Spiegel an einer besondern Stange befestigte, die durch ein Charnier *a* mit dem Stative verbunden war, so dass das Instrument horizontal gegen das Licht gestellt werden konnte. Er hatte dabei das nämliche Ziel vor Augen, wie Martin; seine Einrichtung jedoch war eine bessere, weil das Charnier höher oben angebracht ist, mithin das Mikroskop in der horizontalen Stellung sich mehr in gleicher Höhe mit dem Auge des Beobachters befindet. Dieser Theil des Jones'schen Mikroskopgestelles ist auch bei den späteren englischen Mikroskopen meistens beibehalten worden.

Fig. 282.



Mikroskop von Jones.

Die mechanische Einrichtung der Mikroskope von James Mann ist in der Hauptsache ganz so wie bei Jones. Was ihr optisches Vermögen anbetrifft, so scheinen sie für die Zeit ihrer Anfertigung sehr gut gewesen zu sein. Meyen (Die neuesten Fortschritte der Anatomie und Physiologie der Gewächse. 1836. S. 2), der seine ersten phytotomischen Beobachtungen noch mit einem Mann'schen Mikroskope anstellte, rühmt es wenigstens sehr.

Auch die Dollond'schen Mikroskope aus jener Zeit hatten ziemlich die gleiche Einrichtung wie jene von Jones. Nur das verdient bemerkt zu werden, dass Dollond dabei das Huygens'sche Ocular benutzte, in welcher Beziehung er der erste gewesen zu sein scheint (*Chevalier*, *Notes rectificatives* etc. p. 25).

429 In Deutschland wurde mittlerweile das Cuff'sche Mikroskop von Ring und Vennebruch in Berlin nachgemacht. Reinthaler in Leipzig verfertigte auch dergleichen, jedoch mit der Veränderung, dass der Körper des Mikroskops nicht durch eine Schraube, sondern durch einen Trieb sich auf- und niederbewegte (Krünitz's Encyclopädie. Art. Mikroskop. S. 266). Auch das zusammengesetzte Mikroskop von Burucker in Nürnberg, welches bei Ledermüller (Mikroskop. Gemüths- und Augenergötzungen) umständlich beschrieben wird, stimmt in der Hauptsache mit dem Cuff'schen Mikroskope.

Einen besondern Ruf durch seine Mikroskope erwarb sich der Augsburger Brander (Beschreibung zweier zusammengesetzter Mikroskope. Augsb. 1769, und Beschreibung und Abbildung eines Universalmikroskops, mit acht colorirten Kupfern. Nürnb. 1776). Das eine von den zuerst beschriebenen Mikroskopen hat ziemlich die nämliche Einrichtung wie das Martin'sche Taschenmikroskop (S. 675), und ist auch wie dieses mit einem Schraubenmikrometer versehen; das andere stimmt zum grossen Theile mit dem Cuff'schen Instrumente überein. Eine Verbesserung daran hat sich aber mit ein paar Modificationen bis auf unsere Zeit erhalten: den bis dahin gebräuchlichen Objecthalter mit der Spiralfeder, wie er zuerst am einfachen Mikroskope Hartsoeker's (S. 606) vorkommt, vertauschte Brander nämlich mit einer hufeisenförmigen Platte, und zwischen diese und den Objecttisch wird die kleine Tafel oder Scheibe mit dem Objecte geschoben und befestigt. Nach Brander's eigener Angabe vergrösserten seine Mikroskope bei 8 Zoll Sehweite nicht über 120 Mal.

In Frankreich hatte schon zwei Jahre früher der Duc de Chaulnes (*Mém. de l'Acad. des Sc.* 1767, p. 423, und *Description d'un Microscope et de differents micromètres.* Par. 1768) ein Mikroskop hergestellt, das sowohl in der optischen Einrichtung wie in der Bewegungsweise zum Objecte sich nicht wesentlich vom Cuff'schen unterschied. Nur war es ausdrücklich zu genauen mikrometrischen Messungen bestimmt, und deshalb wird die nähere Beschreibung auf das Capitel von den Mikrometern verspart.

430 In der eigentlichen optischen Zusammensetzung der Mikroskope hatte man seit Anfang des achtzehnten Jahrhunderts keinerlei bemerkenswerthe Verbesserung angebracht; man war vielmehr von dem Wege abgeirrt, welcher dazu führte und auf den Einzelne in gewisser Beziehung schon zu Ende des 17. Jahrhunders hingewiesen hatten (S. 662). Inzwischen hatten die Fernrohre durch das Achromatisiren der Objectivgläser eine höchst wichtige Verbesserung erfahren. Allein man verzweifelte daran, dass man diese auch bei dem Mikroskope würde erlangen können, worüber bald ausführlicher gehandelt werden soll.

Indessen durfte man erwarten, dass auch ohne das Achromatisiren der Linsen eine Verbesserung möglich sein würde, wenn man bei den

Krümmungen der Linsen und deren Abständen, desgleichen in Betreff der Anzahl der Linsen solche Einrichtungen träfe, wodurch wenigstens die Wirkungen der sphärischen Aberration möglichst beseitigt würden. Auf diesen Punkt richtete Euler die Aufmerksamkeit, und wir verdanken ihm eine Reihe von Untersuchungen darüber, die auch jetzt noch keineswegs ohne Interesse sind*).

Es scheinen aber die von Euler vorgeschlagenen Verbesserungen bei den praktischen Optikern wenig Eingang gefunden zu haben, wahrscheinlich wegen der wissenschaftlichen Form, in der sie vorgetragen wurden. Die von ihm empfohlenen Doublets, von denen schon oben die Rede war, und die er auch als Objective im zusammengesetzten Mikroskope benutzt haben wollte, scheint man niemals construirt zu haben. Ob jemals ein Mikroskop mit sechs Linsen ganz nach seiner Vorschrift hergestellt worden ist, das ist mir nicht bekannt. Dass Grindl schon

---

*) *Règles générales pour la construction des télescopes et des microscopes de quelque nombre de verres qu'ils soient composés* in den *Mémoires de l'Académie de Berlin.* 1757. XII. p. 283. In dieser Abhandlung entwickelt Euler aus theoretischen Gründen, welche Krümmungen, Abstände und Oeffnungen die Linsen haben müssen in Mikroskopen, worin eine bis fünf Linsen enthalten sind. Denselben Gegenstand unter gleichem Titel behandelt er dann noch einmal in den *Mém. de Berlin.* 1761. XVII. p. 201.

Détermination du champ apparent que découvrent tant les télescopes que les microscopes in *Mém. de Berlin.* 1761. XVII. p. 191. Hier berechnet Euler die Grösse des Gesichtsfeldes, und an welcher Stelle sich das Auge bei dioptrischen Instrumenten, die eine bestimmte Anzahl Gläser enthalten, befinden müsse.

Recherches sur les microscopes à trois verres et les moyens de les perfectionner in *Mémoires de Berlin.* 1764 XX. p. 117. Nachdem Euler bereits in einer frühern Abhandlung (s. S. 624) nachgewiesen hatte, welche Vortheile es bietet, wenn man im einfachen Mikroskope zwei Linsen vereinigt, wendet er nun hier das nämliche Princip auch auf das Objectiv des zusammengesetzten Mikroskops an, und in Tabellen bestimmt er die Krümmungen der Linsen, deren Oeffnungen und wechselseitige Abstände.

De novo microscopiorum genere ex sex lentibus composito in den *Novi Commentarii Acad. Petrop.* 1768. XII. p. 195. Hier verbreitet sich Euler über die Vorzüge eines aus sechs Linsen zusammengesetzten Mikroskops, und er berechnet ihre Krümmungen, ihre Oeffnungen und Abstände für Mikroskope, welche 600, 2000 und 4000 Mal im Durchmesser vergrössern sollen. Ein solches Mikroskop sollte so construirt sein, dass auf die Objectivlinse dort, wo sie das Bild erzeugt, eine Linse mit weiter Oeffnung folgt, dann in einiger Entfernung eine stärker vergrössernde Linse mit sehr geringer Oeffnung, zuletzt aber drei über einander befindliche eigentliche Oculare kommen. Auch hier sollte die Objectivlinse überdies noch ganz gut aus zwei vereinigten Linsen bestehen können. Für Mikroskopenverfertiger war dieser Abhandlung noch eine Tabelle angehängt, worin die Krümmungen und die Abstände der Linsen für Doppelobjective von 1 Zoll bis $^1/_{20}$ Zoll Brennweite verzeichnet sind.

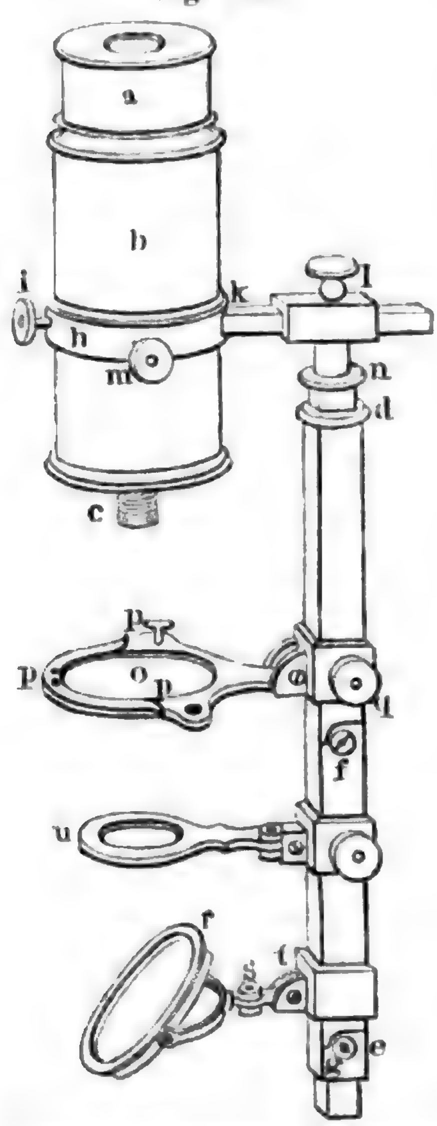
Den Inhalt dieser verschiedenen Abhandlungen findet man, und zwar vermehrt, auch in *Euleri Dioptrica*, T. III. wieder, so wie in Klügel's Dioptrik.

Ueber Euler's Vorschlag, die Objectivlinse der Mikroskope zu achromatisiren, wird noch weiterhin gesprochen werden.

1685 ein Mikroskop mit sechs Linsen herstellte, wurde oben (S. 663) erwähnt, aber auch nach Euler wurden von Dellebarre in Leyden Mikroskope mit sechs Linsen verfertigt. In dem bei der französischen Akademie über diese letzteren Mikroskope abgestatteten Berichte heisst es ausdrücklich, Dellebarre habe den von Euler gemachten Vorschlag verwirklicht. Hätte sich aber die Commission, von der dieser Bericht gemacht wurde, die Mühe gegeben, mehr als den blossen Titel von Euler's Abhandlung zu lesen, so würde sie sich alsbald überzeugt haben, dass die Einrichtung von Dellebarre's Mikroskopen mit jener von Euler empfohlenen nichts gemein hatte als die Anzahl der Linsen. Es sollte z. B. Euler's Ocular aus drei Linsen bestehen, und das von Dellebarre bestand aus vier Linsen.

Dellebarre's Mikroskope haben lange Zeit in hohem Rufe gestanden. Dieser Ruf nahm noch besonders zu, als Lalande, der 1762 Holland bereiste, seine Instrumente sah, und ihn nöthigte, nach Frankreich zu kommen, wo er viele Mikroskope verkaufte (Montucla, *Hist. des Mathémat.* III, p. 511). Die Dellebarre'schen Mikroskope kosteten 360 Francs. Im Jahre 1777 legte er der französischen Akademie eine Abhandlung über Mikroskope im Allgemeinen und über die seinigen im Besondern vor, und er gab auch noch eine besondere Beschreibung derselben heraus (*Mémoires sur les differences de la construction et des effets du microscope.* 1777). Der an die Akademie erstattete Bericht lautete ungemein günstig und empfahl die Mikroskope von Dellebarre, in denen viele neue Vorzüge mit denjenigen aller früheren Mikroskope vereinigt wären.

Fig. 283.



Zusammengesetztes Mikroskop von Dellebarre.

Ist auch das Lob, welches die Pariser Akademie den Mikroskopen Dellebarre's ertheilte, nicht frei von Uebertreibung, so besitzen sie gleichwohl einige Eigenthümlichkeiten, wodurch sie sich vor den meisten der damaligen Zeit auszeichneten (Fig. 283). Das Ocular besteht aus vier Gläsern, die entweder zusammen oder paarweise benutzt werden können. Jedes Paar besteht aus einer Flintgläslinse und einer grünlichen Kronglaslinse. Alle sind biconvex und so vereinigt, dass ihre Oberflächen einander sehr nahe sind. Zwischen der Objectivlinse und dem Oculare befindet sich noch ein biconvexes Zwischenglas. Letzteres ist an ein Rohr geschraubt, in

welches von oben das Rohr *a* mit den Augengläsern geschoben wird, das sich aber selbst wieder in einem andern Rohre *b*, woran unten die Objectivlinse bei *c* befestigt wird, auf- und niederschieben lässt, um auf diese Weise das Mikroskoprohr zu verlängern.

Ausserdem unterscheidet sich die mechanische Einrichtung dadurch, dass die Stange *de*, welche auf einem nicht mit abgebildetem Dreifusse ruht, durch zwei Charniergelenke bei *f* und bei *g* sich horizontal stellen lässt. Die Röhre *b* mit dem optischen Apparate hängt in dem Ringe *h* und wird hier durch die Klemmschrauben *i* und *m* befestigt. Dieser Ring ist mit der vierseitigen Stange *k* fest verbunden, welche in dem hohlen vierseitigen Stücke *l* vorwärts und rückwärts gleiten kann; mit dem Stücke *l* aber steht wieder der runde Theil *n* in Verbindung, woran sich ein Vorsprung befindet, der in eine Oeffnung oben an der Stange *de* passt und sich spindelförmig darin dreht, damit das Mikroskoprohr über alle Punkte des Objecttisches *o* gebracht werden kann. Der Objecttisch selbst ist ringförmig und trägt in einer kreisförmigen Grube eine runde Glasplatte. Zum Festhalten der Objecte ist eine hufeisenförmige Stahlfeder bestimmt, die bei *p* auf den Rand des Objecttisches befestigt ist. Das Object wird der Objectivlinse durch ein Triebwerk genähert, dessen geränderter Knopf bei *q* sichtbar ist.

Zur Beleuchtung dient ein concaver und ein ebener Spiegel *r*, welche durch die Charniere *s* und *t* in allen Richtungen sich bewegen lassen. Zwischen den Spiegel und das Object aber kann eine Linse *u* gebracht werden, welche das Licht concentrirt. — Endlich gehörte zum Dellebarre'schen Mikroskope noch ein hohler Metallspiegel zur Beleuchtung undurchsichtiger Objecte; derselbe war merklich grösser als die bisher gebräuchlichen, und bei schwächeren Vergrösserungen entspricht er auch in der That seinem Zwecke besser.

Ein Hauptziel in der Einrichtung von Dellebarre's Mikroskop ging dahin, durch die verschiedenen Combinationen der Augengläser und die Verlängerung der Mikroskopröhren eine Anzahl verschiedener Vergrösserungen herauszubringen. Auch suchte er ein möglichst grosses Gesichtsfeld zu bekommen. Dass er diese beiden Zwecke wirklich erreicht hat, wird aus den folgenden Bestimmungen ersichtlich, die ich blos mit der stärksten Objectivlinse ausgeführt habe, welche bei dem geprüften Instrumente 2,5 Millimeter Brennweite und einen Oeffnungswinkel von 22° hatte.

Die Entfernung des obersten Oculars vom Objectivglase beträgt 15 Centimeter, wenn das Verlängerungsrohr nicht ausgezogen ist, dagegen 22 Centimeter, wenn dieses Ausziehen statt gefunden hat.

	Oculare		
	Nr. 3 u. 4	Nr. 1 u. 2	Nr. 1, 2, 3 u. 4
	Centimeter.	Centimeter.	Centimeter.
Durchmesser des Gesichtsfeldes . . .	22,5	36,5	40*)
Mit Zwischenglas, ohne Ausziehung des Verlängerungsrohrs ist die Vergrösserung	230	290	440
Mit Zwischenglas und mit Ausziehung des Verlängerungsrohrs ist die Vergrösserung	280	350	490
Ohne Zwischenglas und mit Ausziehung des Verlängerungsrohrs ist die Vergrösserung	590	840	1170

Mit jeder Objectivlinse kann man also wenigstens neun verschiedene Vergrösserungen herausbringen, und dabei ist das Gesichtsfeld so gross, dass in dieser Hinsicht alle übrigen Mikroskope, ja selbst neuere Instrumente, dem Dellebarre'schen nachstehen. Indessen fehlt viel daran, wie auch schon die ganze Einrichtung voraussehen lässt, dass die Objecte sich überall mit gleicher Deutlichkeit im Gesichtsfelde darstellen. Nur die Mitte des Gesichtsfeldes eignet sich zur eigentlichen Beobachtung. Hier erkennt man bei einer 440maligen Vergrösserung recht deutlich die längslaufenden Striche auf den öfters genannten Schüppchen von *Noctua nupta*, dagegen keine Spur von den feinen Querstreifchen. Am Nobert'schen Probetäfelchen unterscheidet man die Striche der zweiten Gruppe noch ganz gut, unvollkommen dagegen die Striche der dritten Gruppe. Wird durch Ausziehen des Ocularrohrs oder aber durch Entfernung des Zwischenglases stärker vergrössert, so nimmt das optische Vermögen um gar nichts zu.

Bei der gleichen Vergrösserung wurden auch die äussersten Grenzen der Sichtbarkeit und Unterscheidbarkeit der Objecte bei durchfallendem Lichte bestimmt, auf die früherhin (S. 294) angegebene Weise. Die Grenzen der Sichtbarkeit waren für:

kugelrunde Objecte . . . $0{,}767^{\text{mmm}} = {}^{1}/_{1300}$ Millim.
fadenförmige » . . . $0{,}145^{\text{mmm}} = {}^{1}/_{6900}$ »

Bei einem Drahtgeflechte waren die Grenzen der Unterscheidbarkeit für:

die Drähte . . . . $0{,}672^{\text{mmm}} = {}^{1}/_{1490}$ Millim.
die Maschenräume . . . $1{,}010^{\text{mmm}} = {}^{1}/_{990}$ »

*) Eigentlich ist das Gesichtsfeld noch grösser; es lässt sich aber kein grösserer Raum übersehen. Die angegebene Grösse des Gesichtsfeldes setzt schon einen Gesichtswinkel von 78° voraus.

Vergleichen wir nun Dellebarre's Mikroskop mit jenem von Adams und von Martin, so hat es im optischen Vermögen unzweifelhafte Vorzüge vor diesen, wenngleich es in der mechanischen Einrichtung den englischen Instrumenten nachsteht. Gehen wir dann ferner dem Grunde nach, weshalb die Objecte durch dieses Mikroskop sich deutlicher darstellen, so tritt es auf der Stelle entgegen, dass nicht sowohl die eigenthümliche Zusammensetzung des Oculars dabei in Betracht kommt, sondern einzig und allein der Umstand, dass Dellebarre Objectivlinsen mit einer kürzern Brennweite benutzte. Bringt man diese an die eben genannten englischen Mikroskope, so bekommt man mit diesen gleich scharfe Bilder wie bei Dellebarre. Das ist aber auch zugleich der Hauptgrund, warum die letzteren stärker vergrösserten.

Ein Zeitgenosse von Dellebarre war der Hannoveraner Samuel 431
Gottlieb Hoffmann, dessen Mikroskope damals in Deutschland sehr gesucht waren. Er beschrieb sie 1772 in der Altonaer Zeitung, und späterhin wurden sie von Goeze (Hannoversches Magazin, 10. Jahrg. Krünitz's Encyclopädie Bd. 90, S. 310) sehr gerühmt. Goeze spricht von einer Einrichtung, wodurch das Gesichtsfeld dieses Mikroskops grösser und kleiner gemacht werden konnte; er nennt aber das hierzu verwandte Mittel nicht. Mit sechs Objectivlinsen konnten zwölf verschiedene Vergrösserungen erzielt werden (wahrscheinlich durch Ausziehen der Röhren); die stärkste Vergrösserung war 370 Mal.

Einige Jahre später erschien die Beschreibung der Mikroskope von Johann Heinrich Tiedemann (Beschreibung der von ihm verfertigten achromatischen Fernröhre, zusammengesetzten Vergrösserungsgläser u. s. w. Stuttgart 1785; aufgenommen bei Krünitz l. c. S. 295). Ausser dem aus zwei Gläsern bestehenden Oculare enthielt es auch noch ein Zwischenglas. Die am stärksten vergrössernde Objectivlinse hatte 1 Linie oder 2,2 Millim. Brennweite. Die Bewegung wurde durch einen Trieb bewirkt. Auch gehörte zu diesem Mikroskope ein besonderer, durch zwei Schrauben beweglicher Objecttisch. Als Fuss für das Stativ des Mikroskops wurde der Boden des Kästchens benutzt, worin es nach stattgefundenem Gebrauche mittelst eines Charniers zusammengelegt verborgen lag. Beseke (Beobacht. u. Entd. d. Berl. Ges. naturforschender Freunde, Bd. II, 1788, S. 117) stellte Tiedemann's Mikroskop unter allen Mikroskopen jener Zeit oben an, sowohl in der Brauchbarkeit der Gläser als in der mechanischen Einrichtung.

Unter denen, die am Ende des 18. und in den ersten Jahren des 19. Jahrhunderts in Deutschland als Verfertiger von Mikroskopen sich einen Namen gemacht haben, nennen wir noch Wagener, Elkner, Junker und Weickert; doch scheinen sie zu einer wirklichen Verbesserung des Instruments nichts beigetragen zu haben. Die beiden letztgenannten legten sich im Besondern darauf, die äussere Einrichtung zu vereinfachen und dadurch ihre Instrumente möglichst wohlfeil zu

machen, ohne dass sie doch an Brauchbarkeit verlören. Junker's Mikroskop ist in Voigt's Magazin für den neuesten Zustand der Naturwissenschaft, Bd. I, S. 139, beschrieben, jenes von Weickert in Gilbert's Annalen, 1811, Bd. 38, S. 345. Hedwig benutzte zu seinen bekannten Untersuchungen ein Mikroskop von Weickert.

Damals und auch noch späterhin wurden übrigens zusammengesetzte Mikroskope aus Pappe und Holz in grosser Anzahl fabrikmässig in Nürnberg verfertigt.

432 In Holland wurden ausser von Dellebarre, dessen Mikroskope bereits beschrieben worden sind, um jene Zeit noch von Herman und Jan van Deyl zusammengesetzte Mikroskope verfertigt. Wir werden dieselben bald als die ersten kennen lernen, die ein brauchbares achromatisches Mikroskop herstellten; aber auch ihre früheren nach der alten Art verfertigten Mikroskope waren sehr gut, namentlich in optischer Beziehung, und sie hatten dabei eine sehr einfache mechanische Einrichtung, die etwa mit jener des spätern achromatischen Mikroskops von Jan van Deyl übereinstimmte. Ich habe ein von ihnen kommendes Instrument zu untersuchen Gelegenheit gehabt: die Brennweite seiner stärksten Objectivlinse beträgt etwas über 2 Millimeter; an Helligkeit und Schärfe übertrifft es aber bei gleicher Vergrösserung (etwa 300 Mal) das Dellebarre'sche Mikroskop. Auch das verdient bemerkt zu werden, dass der Bügel, worin sich der Spiegel bewegt, am Ende einer um eine Axe drehbaren Krücke befindlich ist; der Spiegel lässt sich dadurch so stellen, dass die Lichtstrahlen auch in schiefer Richtung auf das Object fallen können, also ganz in der nämlichen Weise, wie man es bei vielen neueren Mikroskopen antrifft.

Ferner ist hier Hendrik Hen zu nennen, der gleich den Deyl's in Amsterdam wohnte. Sein zusammengesetztes Mikroskop von 1807 zeichnet sich durch Vollständigkeit, Festigkeit und genaue Ausführung der ganzen mechanischen Einrichtung aus, wobei offenbar das Martin'sche Mikroskop (S. 676), abgesehen von einigen angebrachten Modificationen, zum Vorbilde gedient hat. Seine schwere runde Stange ruht auf einem Fussstücke mit drei verstellbaren Füssen; ein Triebwerk bewirkt das Auf- und Niederbewegen des Objecttisches; der Arm, woran das Mikroskoprohr befestigt ist, kann mittelst eines Rades und einer Schraube ohne Ende horizontal gedreht werden, und das ganze Mikroskop lässt sich durch ein besonders dazu bestimmtes Räderwerk in die horizontale oder sonst eine Richtung bringen. — Zur optischen Einrichtung gehören: a. eine Messingplatte mit drei darin gefassten Linsen, die, je nachdem die Platte unter dem Mikroskoprohre befestigt wird, der Reihe nach durch Umdrehen unter die Oeffnung desselben kommen und als Objectivlinsen dienen; b. drei andere stärker vergrössernde Objectivlinsen in Messingröhrchen, von denen die stärkste eine Brennweite von reichlich

3 Millimeter hat; c. drei Objectivlinsen mit Metallspiegelchen zur Betrachtung undurchsichtiger Objecte; d. zwei verschiedene Ocularröhren, die eine mit zwei, die andere mit vier Gläsern. — Der Spiegel ist auf der einen Seite eben, auf der andern concav, und auch für schief einfallendes Licht eingerichtet. Eine Beleuchtungslinse kann unter den Objecttisch gebracht werden, und mittelst eines besondern Apparates lässt sich auch eine Kerze am Mikroskope befestigen. Zur Beleuchtung bei auffallendem Lichte dient eine grosse Linse, und ausserdem ist auch noch der später zu erwähnende Swaving'sche Apparat beigegeben.

Aus dieser kurzen Beschreibung ist schon zu entnehmen, dass das Mikroskop von Hen sorgfältig gearbeitet war und das von Zeitgenossen ertheilte Lob verdiente. Ich selbst habe es nur bei Gelegenheit einer Auction physikalischer Instrumente kennen gelernt, zugleich aber bei dieser Gelegenheit in dem Kasten des Mikroskops einen an dessen Verfertiger gerichteten, vom September 1807 datirten Brief von A. Ypelaar, der sich mit Anfertigung mikroskopischer Präparate beschäftigte, gefunden, worin der Schreiber versichert, noch kein Mikroskop gesehen zu haben, wodurch er im Ganzen in gleicher Weise befriedigt worden wäre, wie durch dieses. — Dass übrigens Hen ein sehr guter Arbeiter war, davon habe ich mich auch noch an einem von ihm kommenden Sonnenmikroskope überzeugt, von dem an geeigneter Stelle die Rede sein wird.

Endlich verfertigte um die nämliche Zeit auch Onderdewyngaart Canzius in Delft*) Mikroskope, die nach der Untersuchung, die ich mit einem dem Herrn Maitland zugehörigen Instrumente vornehmen konnte, in der mechanischen Einrichtung ebenfalls meistens eine Wiederholung des Martin'schen Mikroskops waren. Wie bei den späteren Instrumenten des Letzteren besteht der Mikroskopkörper aus zwei weiten, durch einen Trieb sich übereinander schiebenden Röhren, und das untere Ende mit den Objectivlinsen ist eine auffallend engere Röhre. Diese hat nach oben eine planconvexe Linse von sehr schwacher Krümmung. In der innersten Röhre des eigentlichen Mikroskopkörpers sind noch

---

*) Dieser auch in manchen anderen Beziehungen verdienstvolle Mann errichtete 1798 in Delft eine Fabrik mathematischer, physikalischer, optischer, anatomischer und chirurgischer Instrumente, und im Jahre 1808 gab er in der *Nieuwe algemeene Konst- en Letterbode.* XIV, pag. 177 eine kurze Beschreibung dieser grossartig eingerichteten Fabrik. Unter anderen befand sich darin eine „vollständige Glasschleiferei, wo alle Gläser, convexe wie concave, deren man zu optischen Instrumenten bedarf, geschliffen wurden, und wo man nach einem ganz genauen Verfahren parallele und ebene Schliffe ausführte." Es heisst dort, es würden Linsen geschliffen von $\frac{1}{8}$ Zoll bis zu 96 Zoll Brennweite. Später, als Nordniederland mit Belgien zu Einem Königreiche vereinigt war, wurde Onderdewyngaart Canzius zum Director des Museums für Kunst und Industrie in Brüssel ernannt. Nach der Trennung beider Länder blieb er an der Spitze der genannten Anstalt. Er starb den 10. Juli 1838 in Delft. (Siehe *Algemeene Konst- en Letterbode.* 1838. II, p. 33.)

drei grössere biconvexe Linsen enthalten: die unterste davon wirkt als Collectivlinse, die beiden oberen dagegen, die dicht bei einander sind, vertreten zusammen die Stelle eines Oculars. Es gehören acht Objectivlinsen dazu, von denen die stärkste 460 Mal vergrössert; ausserdem noch drei mit concaven Reflexionsspiegelchen versehene Linsen zur Beobachtung undurchsichtiger Objecte.

Wird der Mikroskopkörper weggenommen und ein kleiner Querarm angesetzt, der die Linsen aufnimmt, so lässt sich das Instrument in ein einfaches Mikroskop umwandeln. Von den dazu gehörenden vier Linsen vergrössert die stärkste 150 Mal.

Uebrigens gehören noch mancherlei Nebendinge zu diesem Mikroskope, die aber alle dem Martin'schen entlehnt sind.

433 Ueberblickt man nun die Fortschritte des zusammengesetzten Mikroskops während des 18. Jahrhunderts und der ersten Jahre des 19. Jahrhunderts, so muss man eingestehen, dass allmälig grosse Verbesserungen desselben eingetreten waren, einmal nämlich in der ganzen mechanischen Einrichtung und zweitens dann in den Mitteln zur Beleuchtung der Objecte. Anders verhält es sich aber mit dem wichtigsten Theile des Mikroskops, mit der optischen Einrichtung; hierin waren nur sehr geringe Fortschritte gemacht worden. Alle hierin erstrebten Verbesserungen waren nur auf Veränderungen des Oculars gerichtet und diese mussten immer einen untergeordneten Werth haben, so lange nicht die Objective verbessert wurden. Untersucht man Mikroskope aus jener Zeit, so kommt man zu dem Resultate, dass durch die einfachen Linsen, welche als Objective benutzt wurden, alles dasjenige, was man durchs zusammengesetzte Mikroskop wahrnehmen konnte, zwar in geringerer Vergrösserung gesehen wurde, dafür aber auch viel deutlicher und schärfer, dass man daher durch die stärkere Vergrösserung des Bildes mit Ocularen eigentlich nichts gewann als ein grösseres Gesichtsfeld, und zwar auf Kosten der für den Beobachter weit wichtigeren Helligkeit und Schärfe.

Es schien wirklich, als sollte das zusammengesetzte Mikroskop aus seinem bisherigen Zustande der Mittelmässigkeit sich niemals erheben können. Auch stand man bei wissenschaftlichen Untersuchungen von seinem Gebrauche mehr und mehr ab, und ungeachtet der mit dem Gebrauche des einfachen Mikroskops verbundenen Nachtheile gaben doch die gründlichsten Beobachter demselben den Vorzug; wogegen das zusammengesetzte Mikroskop je länger je mehr zu einem Instrumente der Vergnügung oder der Befriedigung kindischer Neugierde erniedrigt wurde, oder wenigstens nur dann in Gebrauch kam, wenn die Art der Untersuchung keine gar grosse Genauigkeit erforderlich machte.

Allmälig durfte man sich jedoch der Hoffnung hingeben, dass auch in der optischen Einrichtung des zusammengesetzten Mikroskops eine erhebliche Verbesserung möglich sei. Newton hatte schon dargethan, dass die Unvollkommenheit der dioptrischen Instrumente hauptsächlich

von der chromatischen Aberration herrührte. Durch ein paar ungenügend ausgeführte Versuche kam er aber zu dem unrichtigen Schlusse, die Farbenzerstreuung sei bei allen das Licht brechenden Medien die nämliche, und deshalb würde es ein vergebliches Bemühen sein, wenn man durch die Verbindung zweier verschiedener Medien, indem man etwa Wasser zwischen zwei concave Gläser brächte, die chromatische Aberration verbessern wollte *). Schon zwei Jahre nach Newton's Tode, im Jahre 1722, wurde es aber thatsächlich nachgewiesen, dass er sich hierin geirrt hatte und in seinen Folgerungen zu voreilig gewesen war. Chester More Hall, ein in der Geschichte der Wissenschaften sonst unbekannter Edelmann aus der Grafschaft Essex, versuchte in diesem Jahre Linsen aus Kronglas und Flintglas zusammen zu setzen, indem er sich auf den Achromatismus des menschlichen Auges stützte, worin ebenfalls ungleich brechende Medien vereinigt sind. Er setzte seine Versuche fort, und 1733 gelang es ihm wirklich, achromatische Objectivlinsen für Fernrohre herzustellen **). Indessen verflossen noch viele Jahre, ehe diese Erfindung für die Wissenschaft Früchte trug. Ein halbes Jahrhundert später war der Name des wahren Erfinders noch nicht bekannt, und John Dollond galt allgemein als solcher. Ist es nun auch sehr wahrscheinlich, dass Dollond, als er 1757 achromatische Fernrohre zu verfertigen anfing, mit Hall's Erfindung nicht ganz unbekannt war, so bleiben gleichwohl seine grossen Verdienste in Betreff des Achromatismus der Linsen ungeschmälert: seinen unnachlässigen Bemühungen ist es zuzuschreiben, dass der Achromatismus allgemein bekannt wurde, und durch seine zahlreichen Versuche hat er sich selbst und Andere in den Stand gesetzt, die dazu geeigneten Methoden immer mehr zu verbessern. Schon 5 Jahre später, nämlich 1762, wurde in Holland das erste achromatische Fernglas gemacht, nämlich von Herman und Jan van Deyl in Amsterdam (*Verhandl. d. Haarl. maatschappy*, III. St. 2, p. 134).

*) Newton erhielt bei seinen Versuchen deshalb falsche Resultate, weil er in dem benutzten Wasser eine gewisse Menge essigsaures Blei auflöste, wodurch sowohl das Brechungsvermögen als das Farbendispersionsvermögen jenem des Glases näher kam. Dass er übrigens das Princip, worauf sich die Möglichkeit des Achromatismus stützt, wirklich durchschaute, das ersieht man aus seinen *Principia mathematica philosophiae naturalis*, Lib. I. Schol. ad Prop. XCVIII. Molyneux, welcher 1690 Newton's Worte citirte, liess sich zu der gewissermaassen prophetischen Aeusserung hinreissen: „er ist in die Tiefen der Natur hinabgestiegen und hat der Nachwelt einen Grundstein gelegt, worauf sie ein unübersehbares Gebäude errichten kann.“

**) Nähere Nachrichten über Hall und dessen Erfindung finden sich zuerst in *The Gentleman's Magazine*, Oct. 1790, und wurden von da in *The philosophical Magazine*, Nov. 1798, aufgenommen. Eine Nachricht darüber, wie die Zusammensetzung seiner achromatischen Linsen endlich Dollond bekannt geworden sein soll, findet man in der Abhandlung von Alexis Rochon (*Mémoire sur les verres achromatiques*), welche im Floreal des Jahres IX dem Institut national mitgetheilt wurde.

Schon früher, etwa um 1747, hatte sich Euler mit dem nämlichen Gegenstande beschäftigt, und bei Wiederholung einiger Newton'schen Versuche war er zu den nämlichen negativen Resultaten gekommen, wie dieser. Als indessen die Möglichkeit des Linsenachromatismus durch Dollond dargethan worden war, wurden die theoretischen Gründe für das Verfahren von Euler (*Dioptrica. Petrop.* 1771) entwickelt, was zum Theil auch schon früher in den *Mémoires de l'Acad. de Berlin*, 1766 u. 1767, sowie in *Nov. Comment. Acad. Petropol.* XVIII. geschehen ist.

War es nun aber auch gelungen, die chromatische Aberration in den Fernrohren grossentheils zu beseitigen, so war man doch noch weit davon entfernt, dass man das nämliche Verfahren auch für das Mikroskop passlich erachtete. Man verzweifelte vielmehr anfangs allgemein daran, dass man so kleine Linsen, wie zu den Objectiven zusammengesetzter Mikroskope erforderlich sind, achromatisch machen könnte; man fuhr daher, nachdem das Fernrohr achromatische Objective bekommen hatte, noch Jahre lang fort, das Mikroskop ganz in der hergebrachten Weise einzurichten. Blos Dellebarre machte hierin eine Ausnahme; allein sein Versuch, den Achromatismus ins Ocular zu verlegen (S. 682), ist als ein gänzlich missglückter anzusehen.

Euler indessen hatte nicht vergessen, seine Principien auch auf das Mikroskop zu übertragen. Er veranlasste die Herausgabe der Schrift von Nicol. Fuss (*Instruction détaillée pour porter les lunettes au plus haut degré de perfection, avec la description d'un microscope, qui peut passer pour le plus parfait dans son espèce.* St. Petersbourg 1774), die er mit einer Vorrede versah. Fuss giebt darin, nach Anleitung der Theorie in Euler's *Dioptrica*, den Optikern sehr genaue Anweisung, wie sie die Objective von Fernrohren einrichten müssen, um sie möglichst achromatisch zu machen, und zuletzt beschreibt er ein Mikroskop mit achromatischem Objective. Man erkennt es aber, dass diese Beschreibung nicht nach einem fertigen Mikroskope gemacht ist, sondern nur als eine Vorschrift für die Anfertigung eines achromatischen Mikroskops gelten soll. Das von Fuss projectirte Mikroskop sollte eine Objectivlinse von $^1/_7$ Zoll Durchmesser und $^1/_2$ Zoll Brennweite haben, und diese sollte aus zwei biconvexen Kronglaslinsen und einer dazwischen befindlichen biconvexen Flintglaslinse bestehen. Die Brennweiten und die Krümmungen der einzelnen Linsen sind genau angegeben. Die Oculare sollten aus Flintglas und biconvex sein. Fuss glaubte, mit diesem Mikroskope müsste man bei einer 400maligen Vergrösserung noch ganz scharfe Bilder haben.

Erst 10 Jahre später wurde von Aepinus (*Nova acta Acad. Petrop.* 1784. II. Hist. p. 41) ein Mikroskop hergestellt, dessen Objectivlinse aus Flintglas und Kronglas bestand. Die Brennweite war nicht geringer als 7 Zoll; das Mikroskop war 3 Fuss lang und vergrösserte nur 60 bis 70 Mal. Nicht ohne Grund nannte es Adams (l. c. p. 3) ein mikroskopisches Fernrohr. Wahrscheinlich wird auch Aepinus ein Objectiv genommen haben, das ursprünglich für ein Fernrohr bestimmt war, so dass sein In-

strument zur Klasse jener gehörte, von denen oben (S. 676) die Rede war und die Martin als polydynamische Mikroskope benannte. Offenbar war die Schwierigkeit, kleine achromatische Linsen herzustellen, der Grund, weshalb Aepinus ein Objectiv mit so grosser Brennweite benuzte. Bei der geringen Vergrösserung, die das Mikroskop allein zu geben im Stande war, musste daher sein Versuch als ein sehr unvollständig gelungener gelten.

Wahre achromatische Objective für Mikroskope wurden meines Wissens zuerst in Holland angefertigt, und zwar von Jan und Herman van Deyl. Ehe ich jedoch von deren gelungenen Versuchen näher spreche, muss ich noch eines andern Landsmannes, François Beeldsnyder*) gedenken, der sich etwa um 1791 in Amsterdam mit Anfertigung von Mikroskopen beschäftigte, und wirklich ein Mikroskopobjectiv aus Kronglas und Flintglas zu Stande brachte. Dasselbe besteht aus drei Linsen, nämlich aus zwei biconvexen Kronglaslinsen mit einer biconcaven Flintglaslinse dazwischen. Die eine Kronglaslinse hat 22 Millimeter Brennweite, die andere 19 Millimeter, die drei Linsen zusammen aber haben 21 Millimeter Brennweite. Die Linsen haben 6,5 Millimeter Durchmesser und die gesammte Dicke beträgt nicht ganz 4 Millimeter. Sie sind gut geschliffen und offenbar sorgfältig centrirt. Benutzt man diesen Linsensatz für sich allein, so giebt er ein klares und scharfes Bild; als Objectiv für ein Amici'sches Mikroskop schien er mir aber wirklich den Vorzug zu verdienen vor einer einfachen biconvexen Linse von gleicher Brennweite, und recht gut einen Vergleich auszuhalten mit einer achromatischen Linse, die etwa um 1824 wahrscheinlich von Tulley gefertigt worden ist und ziemlich die nämliche Brennweite hat, jedoch einen grössern Oeffnungswinkel besitzt.

Ist es nun auch nicht zu verkennen, dass Beeldsnyder's Objectiv den in den letzten Jahren verfertigten achromatischen Linsen bei weitem nicht gleichkommt, da man jetzt in ihrer Zusammensetzung schon so

*) Durch einen Zufall bin ich mit den Bestrebungen dieses Landsmannes bekannt geworden. Vor mehreren Jahren sah ich bei Herrn O. W. Roelofs hier eine in einer Auction gekaufte Kiste, worin sich mehrere mikroskopische Instrumente verschiedener Art befanden. Darunter war ein Sonnenmikroskop mit Martin'scher Construction, auf dessen Platte gravirt stand: François Beeldsnyder à Amsterdam 1791; ferner ein zusammengesetztes Mikroskop, hauptsächlich nach Dellebarre eingerichtet, sowie viele einzelne Röhrchen und Linsen, grosse und kleine trockene Präparate u. s. w., und zwar alles in grosser Unordnung durch einander. Ich versuchte aus diesem Chaos von Glas und Messing wieder etwas herauszubringen, was einem brauchbaren Mikroskope gliche, und dabei fand ich die achromatische im Texte beschriebene Linse. Durch Herrn G. J. Beeldsnyder van Voshol habe ich nun in Erfahrung gebracht, dass sein Onkel François Beeldsnyder, Gerards Sohn, 1755 geboren wurde und 1808 gestorben ist. Er war Obrist bei der Amsterdamer Cavallerie Mitglied des dortigen Justizcomité u. s. w und allgemein bekannt als Liebhaber der Naturkunde und der mechanischen Werkkunde, auf deren praktische Uebung er einen grossen Theil seiner Zeit verwandte.

vielerlei Erfindungen gemacht hat und dadurch zu einer Sicherheit und Genauigkeit der Ausführung gelangt ist, woran man zuerst trotz der Anweisungen eines Euler nicht denken konnte, so ist doch aus dem Mitgetheilten deutlich zu entnehmen, dass unter jenen, die sich mit der Anfertigung eines achromatischen mikroskopischen Objectivs beschäftigt haben, Beeldsnyder gewiss obenan zu stellen ist.

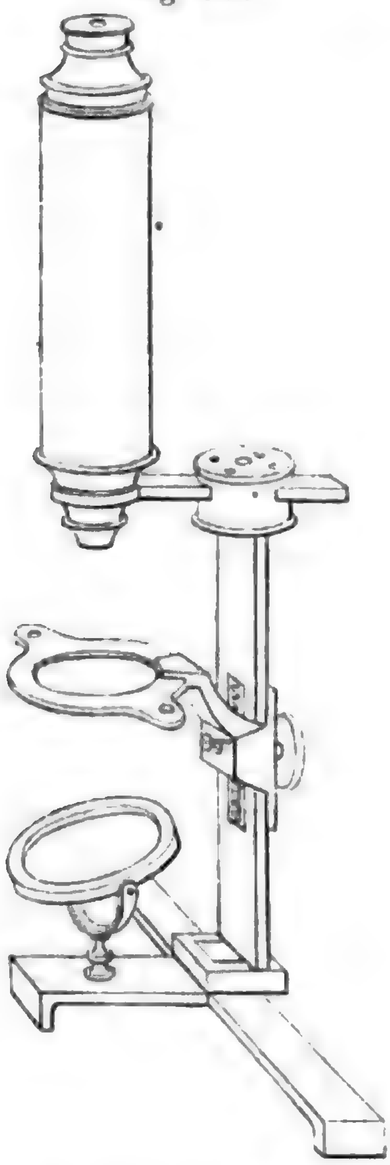
Einige Jahre später, von 1800 bis 1810, versuchte Charles in Paris kleine achromatische Linsen herzustellen. Dieselben werden im physikalischen Kabinette des *Conservatoire des Arts et Metiers* aufbewahrt; allein nach Chevalier (Die Mikroskope u. s. w., S. 51) soll ihre Krümmung und Centrirung so unvollkommen sein, dass sie dadurch geradezu unbrauchbar sind.

Weit bessern Erfolg hatte Herman van Deyl, der 1807 das von ihm verfertigte achromatische Mikroskop beschrieb (*Natuurkundige verhandelingen van de Koninglyke maatschappy der wetenschapen te Haarlem.* Amsterd. 1807. III. St. 2). Bald nach der Erfindung der achromatischen Fernrohre hatte dieser ausgezeichnete Mechanikus, zusammen mit seinem Vater Jan van Deyl, achromatische Objective für Fernrohre verfertigt. Schon damals gingen sie aber auch darauf aus, ein achromatisches Objectiv für ein Mikroskop herzustellen. Van Deyl sagt: „Wir berechneten genau die kuglige Form eines solchen achromatischen Mikroskopglases von $^3/_4$ Zoll Brennweite. Ich formte ganz genaue Schälchen für dasselbe, schliff die Gläschen mit der grössten Sorgfalt, fasste sie in Röhrchen aus Brasilienholz, und in dieses wurde ein anderes Röhrchen mit zwei Ocularen geschoben, dessen Einrichtung wir auch berechnet hatten. — — — — Schon damals wurde uns die Freude zu Theil, dass alles unseren Erwartungen entsprach“. Sie hatten aber soviel mit achromatischen Fernrohren zu thun, dass sie ganz wieder vom Mikroskope abkamen, und zwar um so eher, weil sie glaubten, in England werde diese Verbesserung bald allgemein eingeführt werden; weshalb sie es auch für überflüssig erachteten, ihre Versuche der Oeffentlichkeit zu übergeben. Nachdem indessen der alte van Deyl, 85 Jahre alt, im Jahre 1801 gestorben war, und der Sohn im 69. Jahre die lange erwartete Verbesserung noch immer nicht eintreten sah, beschloss derselbe, nochmals Hand ans Werk zu legen, und seine Versuche hatten einen unerwartet glücklichen Erfolg. Sein Mikroskop bekam zwei achromatische Objectivlinsen mit weiter Oeffnung: die eine hatte $1^1/_{10}$ Zoll (26 Millimeter) Brennweite, die andere $^3/_4$ Zoll (18 Millimeter). Zuerst ging die Vergrösserung mittelst der Oculare und mittelst Ausziehens des Rohrs nicht über 80 Mal; bald fand er aber, dass seine achromatischen Objective weit stärkere Oculare erlaubten, und nun brachte er durch ein zweites besonderes Ocular die Vergrösserung bis zum 150fachen, ohne dass es den Bildern an gehöriger Helligkeit und Schärfe gebrach.

Soviel berichtete van Deyl selbst im Jahre 1807 von seinem Mikroskope (Fig. 284). Ich habe ein von ihm angefertigtes Instrument

untersucht, das sich im physikalischen Kabinette zu Utrecht befindet, und kann daher Folgendes beifügen: Die äussere Form stimmt ganz mit der Abbildung, welche van Deyl in der ursprünglichen Beschreibung gegeben hat. Es sind zwei achromatische Linsen dabei, deren Brennweiten ich gemessen habe; sie beträgt bei der einen 18 Millimeter, bei der andern 13 Millimeter, woraus also ersichtlich ist, dass van Deyl seine Linsen späterhin noch verbessert hat. Die schwächer vergrössernde Linse (Nr. 1) hat einen Oeffnungswinkel von 14°, die stärker vergrössernde (Nr. 2) von 15°. Ihre Dicke habe ich nicht messen können, weil die Röhrchen, in welche sie gefasst sind, eine zu grosse Tiefe haben. Es sind diese achromatischen Objectivlinsen beinahe planconvex gestaltet, jedoch an der abgeplatteten und nach unten gekehrten Seite etwas concav. Diese Form und Stellung der Linsen ist beachtenswerth; denn damals und noch viele Jahre später pflegte man die Objectivlinsen biconvex zu machen, und erst später wurde es allgemein bekannt, dass nur durch planconvexe Linsen, deren platte Seite dem Objecte zugekehrt ist, die sphärische Aberration aufs Minimum gebracht werden kann. Selbst im Mikroskope von Selligue, von dem gleich näher die Rede sein wird, sahen noch die convexen Seiten der Linsen nach unten. Diese Form der van Deyl'schen Objectivlinsen erhebt es auch beinahe zur Gewissheit, dass sie nicht aus drei, sondern nur aus zwei Linsen zusammengesetzt waren, einer biconvexen Kronglaslinse und einer planconvexen (eigentlich biconvexen, aber auf der Aussenfläche sehr wenig gekrümmten) Flintglaslinse, also ganz in der nämlichen Weise, wie es jetzt allgemein gebräuchlich ist.

Fig. 284.



Van Deyl's Mikroskop.

Es gehören ferner zu diesem Mikroskope zwei Oculare, deren jedes nur Ein Glas hat, so dass das nämliche Collectivglas, welches an die Verlängerungsröhre des Mikroskops geschraubt wird, für beide benutzt wird. Alle diese Gläser sind biconvex, aber dergestalt, dass die dem Auge zugekehrte Oberfläche nur eine sehr schwache Krümmung hat, die untere Fläche dagegen stärker gekrümmt ist. Diese Form haben sie offenbar deshalb erhalten, damit die Aberration durch das Ocular möglichst herabgesetzt werde.

Die mechanische Einrichtung dieses Mikroskops ist sehr einfach,

und es bedarf die Abbildung desselben keiner weitern Erklärung. Das Mikroskoprohr hat 16 Centimeter Länge, dagegen 28 Centimeter, wenn das Verlängerungsrohr ganz ausgezogen wird. Für 25 Centimeter Sehweite ergab sich:

	Ohne Verlängerungsrohr.	Mit Verlängerungsrohr.
Linse 1 und Ocular 1 . .	34 . .	61
„ 1 „ „ 2 . .	62 . .	111
„ 2 „ „ 1 . .	54 . .	106
„ 2 „ „ 2 . .	96 . .	170

Grösse des Gesichtsfeldes mit Ocular 1 . . 145 Millimeter
„ „ „ „ „ 3 . . 160 „

Die Helligkeit und Schärfe der Bilder durch dieses Mikroskop ist in der That sehr gross, und es übertrifft darin bei weitem die früheren nichtachromatischen Instrumente. Mit Objectiv 2 und Ocular 2, also bei einer 96maligen Vergrösserung, erkennt man am Nobert'schen Täfelchen die Striche der ersten Gruppe ganz deutlich, was mit einer nichtachromatischen Objectivlinse nur bei einer dreimal stärkeren Vergrösserung möglich ist.

Die Vorzüglichkeit der Linsen van Deyl's wird aber erst recht deutlich, wenn sie zusammen als Objectiv benutzt werden; doch muss ich zugleich hinzufügen, dass van Deyl selbst sie nicht so angewendet zu haben scheint. Die Vergrösserungen mittelst dieses Objectivsystems waren:

	Ohne Verlängerungsrohr.	Mit Verlängerungsrohr.
Ocular 1 . .	76 . . .	136
„ 2 . .	125 . . .	229

Die Schärfe der Bilder ist jetzt so gross, dass man sehr bequem die Längsstreifchen auf den Flügelschüppchen von *Pieris brassicae* erkennen kann, die doch zu den schwierigeren Probeobjecten gehören. Am Nobert'schen Täfelchen erkennt man die Striche der dritten Gruppe gut, und auch die vierte Gruppe erscheint stark gestrichelt. So verhält sich die Sache schon bei der schwächern Vergrösserung von 76 Mal; noch grössere Deutlichkeit zeigt sich aber, wenn das stärkere Ocular angewendet und die Röhre ausgezogen wird. Ich verglich damit einen Satz zweier achromatischer Linsen von fast gleichen Brennweiten, welche Amici 1835 geliefert hat, und überzeugte mich, dass die Linsen van Deyl's diesen nichts nachgeben. Auch kann man zu ihnen weit stärkere Oculare nehmen, als van Deyl gebrauchte. Setzte ich ein stärkeres Ocular ein, wodurch eine Vergrösserung von 650 Mal erreicht wurde, so war die Helligkeit noch immer eine sehr grosse. Nur verlieren die

Ränder der Bilder zu viel von ihrer Schärfe, als dass eine solche Vergrösserung anzuwenden wäre.

Aus allem diesem folgt nicht nur, dass van Deyl für seine Mikroskope wirklich achromatische Linsen herstellte, sondern es ergiebt sich auch, dass keiner von allen, die bis zum Jahre 1823 das nämliche Ziel verfolgten, ihn darin übertroffen hat; ja sogar das in diesem Jahre durch Chevalier für Selligue verfertigte Mikroskop stand in manchen Beziehungen noch unter dem van Deyl'schen.

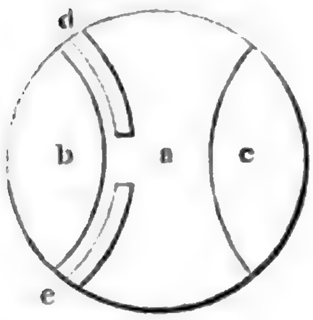
Frauenhofer in München lieferte schon um 1811 Mikroskope mit achromatischen Linsen, nicht erst um 1816, wie von Chevalier (l. c. S. 11) angegeben wird; wenigstens sind sie in einem Preiscourant von 1811 (Gilbert's Annal. Bd. 38, S. 347) mit aufgenommen. Zu jedem Mikroskope gehörten vier solche Linsen mit verschiedener Brennweite: sie waren biconvex, und die am stärksten vergrössernde hatte $^2/_3$ Zoll oder etwa 16 Millim. Brennweite. (S. Döllinger, Nachricht von einem verbesserten Mikroskope, 1829, S. 9.) Zu dem Mikroskope gehörten ferner zwei verschiedene Oculare. Die stärkste Vergrösserung ging nach Jacquin nicht über 120, und nach eben demselben konnte man damit von den Strichelchen auf den Flügelschüppchen einer Kleidermotte keine Spur entdecken, obwohl dieselben mit einer einfachen Linse von 60maliger Vergrösserung schon ganz deutlich zu erkennen sind. (S. Moser, Anleitung zum Gebrauche des Mikroskops, S. 26.) Frauenhofer (Gilbert's Annal. 1823, Bd. 74, S. 350) giebt selbst an, dass er feine Striche auf Glas, die nur $^1/_{713}$ Linie von einander entfernt waren, mittelst der stärksten Vergrösserung nur schwer damit unterscheiden konnte. Hieraus ersieht man aber deutlich, dass die achromatischen Mikroskope Frauenhofer's den früheren van Deyl'schen bei weitem nachstehen mussten; denn in der ersten Gruppe des Nobert'schen Probetäfelchens, welche man durch van Deyl's Instrument bequem unterscheidet, sind die Striche nur $^1/_{1000}$ Linie von einander entfernt.

Ein ganz anderer Weg zum Achromatismus der Mikroskope wurde 1813 von Brewster (*New Instruments*, p. 401) eingeschlagen. Als Objectiv benutzte er eine biconvexe Linse aus Kronglas, die an der nach oben gekehrten Fläche eine weit stärkere Krümmung hatte als an der unteren. Letztere wurde während der Untersuchung in ein stark lichtbrechendes Oel gebracht, in Zimmt-, Anis-, Sassafrasöl u. s. w., worin sich auch das Object befand. Es ist aber klar, dass dieses sonst recht gut ersonnene Hülfsmittel nur in wenigen Fällen wirklich in Anwendung kommen kann.

Brewster machte auch den Vorschlag, achromatische Kugeln (Fig. 285 a. f. S.) dadurch herzustellen, dass der Raum *a* zwischen zwei biconvexen Linsen *b* und *c* mit einer Flüssigkeit erfüllt wurde, die hier die Stelle des Flintglases vertreten sollte. Hinter die eine Linse könnte auch noch ein concaves Metallspiegelchen *de* kommen, mit einer centralen Oeffnung für den Durchtritt der Lichtstrahlen, um als Beleuchtungs-

apparat bei auffallendem Lichte zu dienen. Dieser Vorschlag scheint indessen auch nicht zur Ausführung gekommen zu sein.

Fig. 285.



Achromatische Kugel nach Brewster.

Noch weniger Erfolg hatte Domet in Frankreich in den Jahren 1821 bis 1823. Seine achromatischen Linsen hatten einen Durchmesser von 12 Millimeter bei einer Brennweite von 40 bis 50 Millimeter; als Mikroskopobjective konnten sie daher gewiss nur bei sehr geringen Vergrösserungen Anwendung finden. (Chevalier, die Mikroskope u. s. w. S. 11.)

Um die nämliche Zeit (1824) hat auch Tulley in England unter Goring's Anleitung achromatische Objective von 22 Millim. Brennweite und einem Oeffnungswinkel von 18° verfertigt. (*Pritchard, Microscop. Illustr.* p. 43.) *)

In Italien hatte sich Amici in Modena schon seit 1816 mit der Herstellung achromatischer Linsen beschäftigt; doch scheinen seine ersten Versuche keinen Erfolg gehabt zu haben, weshalb er davon abstand und das später zu beschreibende katadioptrische Mikroskop ausführte.

Auch ein anderer italienischer Optiker, Bernandino Marzoli in Brescia, verfertigte um diese Zeit nach Giovanni Santini (*Teorica degli stromenti ottici.* Padova 1827, p. 187) achromatische Objectivlinsen, von denen mir aber nichts weiter bekannt geworden ist.

Prüft man nun die bis dahin unternommenen Versuche, das Mikroskop zu einem achromatischen Instrumente zu machen, so überzeugt man sich alsbald, dass sie dasjenige, was man glaubte erwarten zu dürfen, nicht zu Tage gefördert hatten. Der bedeutendste Gewinn war, dass man die Oeffnung der Objectivlinse grösser machen konnte, wodurch mehr Licht eingelassen wurde; allein das beschränkte sich wieder einzig und allein auf jene Fälle, wo eine nur mässige Vergrösserung ausreichte. Für diese ungenügenden Ergebnisse giebt es einen doppelten Grund. Der erste Grund liegt in der Schwierigkeit, welche die Anfertigung achromatischer Linsen von kurzer Brennweite bietet. Unter den bis dahin verfertigten achromatischen Linsen hatte jene von van Deyl die

*) Zu einem Dollond'schen Mikroskope aus jener Zeit, welches sich im Utrechter Kabinette befindet, gehören zwei achromatische Linsen von 24 Millimeter Brennweite, 13 Millimeter Durchmesser und nicht weniger denn 7 Millimeter Dicke; sie sind biconvex und bestehen aus zwei Kronglaslinsen nebst einer eingeschobenen concaven Flintglaslinse. Da die Beschreibung der Tulley'schen Linsen ziemlich auf sie passt, und da Pritchard wie Quekett bezeugen, Tulley habe zuerst in England solche Linsen angefertigt, so vermuthe ich, dass sie nicht von Dollond selbst kommen, sondern von Tulley, zumal bekanntlich Dollond in der spätern Zeit keine Mikroskope mehr gearbeitet hat, wenngleich er von Anderen gefertigte Instrumente unter seinem Namen in den Handel brachte.

kürzeste Brennweite, nämlich 13 Millim. für eine etwa 19malige Vergrösserung, während bei den älteren Mikroskopen Objective von 2 bis 3 Millim. Brennweite in Gebrauch waren, die für sich allein schon 80 bis 100 Mal vergrösserten. Wollte man demnach mit achromatischen Objectivlinsen etwas stärkere Vergrösserungen zu Stande bringen, so mussten diese in die Oculare verlegt werden, wo man aber bald auf eine nicht zu überschreitende Grenze stiess, wenn die Bilder nicht zu viel an Schärfe verlieren sollten. Der zweite Grund war der, dass durch den Achromatismus der Linsen noch keineswegs die sphärische Aberration beseitigt war, deren Wirkung beim Gebrauche starker Oculare nur um so mehr hervortrat. Wären die achromatischen zusammengesetzten Mikroskope auf dieser Stufe stehen geblieben, so hätten sie niemals mit Erfolg mit den einfachen Linsen wetteifern können; letztere wurden daher auch in allen Fällen, wo es auf eine ganz genaue Untersuchung ankam, von den besten Beobachtern, wie Brown, Treviranus u. s. w., immer noch vorzugsweise benutzt. So fuhren auch die meisten Optiker fort, dem zusammengesetzten Mikroskope die alte Construction zu geben. Coddington (*Treatise on the Eye and optical Instruments*, p. 59. *Cambr. philos. Transact.* III. p. 421) benutzte seine am Rande rinnenförmig ausgeschliffenen Linsen, von denen schon oben (S. 622) die Rede war und die noch lange nicht achromatisch wirkten, auch als Objective für das zusammengesetzte Mikroskop; dabei gebrauchte er statt zweier biconvexer Oculare ein Ocular mit zwei Paaren einander gegenüberstehender Linsen, von denen die beiden unteren planconvex waren und die flachen Seiten nach oben kehrten, während das obere Paar aus einer biconvexen und einer planconvexen Linse bestand. Durch diese Einrichtung wurde zwar die sphärische Aberration etwas verbessert, die chromatische Aberration dagegen blieb ganz unverändert.

Allmälig fing es aber auch hier an zu tagen. Im Jahre 1824 legte 434
Selligue der Pariser Akademie ein Mikroskop vor, welches von Vincent und Charles Chevalier nach seinen Angaben und unter seiner Aufsicht verfertigt worden war. (S. Chevalier l. c. S. 52.) Fresnel gab im Namen der ernannten Commission einen Bericht darüber (*Annal. des Sc. nat.* 1824, p. 345), wonach dieses Mikroskop wirklich besser war als alle anderen, die man bisher mit achromatischen Objectiven ausgestattet hatte. Indessen war man auch jetzt noch nicht dahin gelangt, achromatische Linsen mit kurzer Brennweite herzustellen. Bei Selligue's Mikroskop bestand das achromatische Objectiv aus einer biconvexen Kronglaslinse und einer planconvexen Flintglaslinse; die Brennweite war nicht geringer als 37 Millim., der Durchmesser betrug 12 Millim. und die Dicke 4 Millim. Die Hauptverbesserung bestand darin, dass man mehrere dieser Doppellinsen über einander schrauben konnte, wodurch ein doppelter Vortheil erzielt wurde, einmal nämlich eine stärkere Vergrösserung und zweitens eine Beschränkung der sphä-

rischen Aberration. Die letztere machte sich aber gleichwohl noch in einem ziemlich hohen Grade geltend, da weder Selligue noch Chevalier darauf kamen (obwohl es schon van Deyl ausgeführt hatte), die flache Seite der Linsen nach unten zu bringen. Namentlich wird dieser Mangel bei etwas stärkeren Vergrösserungen sehr bemerkbar. Die Vergrösserung wurde auf dreierlei Weise zu Stande gebracht: durchs Ausziehen des Rohrs, worin das Ocular enthalten war; durch Vermehrung der über einander geschraubten Objective; durch Einschieben eines biconcaven Glases oberhalb der letzteren. Die stärkste Vergrösserung ging bis 1200; aber schon bei einer 500maligen Vergrösserung reichte das Tageslicht zur Beleuchtung nicht mehr aus und es musste eine Argand'sche Lampe benutzt werden. Zur Beleuchtung undurchsichtiger Objecte diente bei diesem Mikroskope ein dreiseitiges Prisma mit convexer Oberfläche. Um bei durchfallendem Lichte das überflüssige Licht abzuschliessen, wurde nicht der bis dahin gebräuchliche hohle Kegel genommen, sondern eine drehbare Scheibe mit verschieden grossen Löchern kam unter den Objecttisch; eine Einrichtung, die wir übrigens schon bei einem der einfachen Mikroskope Joh. Musschenbroek's kennen gelernt haben (S. 607).

Es unterliegt keinem Zweifel, dass mit der Herstellung dieses Mikroskops ein grosser Schritt vorwärts geschehen war. Zum ersten Male wurde bei demselben das Princip in Anwendung gebracht, ein System von mehr denn einer achromatischen Linse zu benutzen, welchem Principe unsere gegenwärtigen Mikroskope guten Theils ihre grössere Vollkommenheit verdanken. Auch musste der günstige Erfolg der Bemühungen den Muth beleben und die Hoffnung aufrecht erhalten, dass man durch Ausdauer endlich das Ziel erreichen werde.

Auch ging Charles Chevalier auf der bereits mit so gutem Erfolge betretenen Bahn mit Eifer fort und noch in dem nämlichen Jahre gelang es ihm, eine achromatische Linse zu Stande zu bringen, die eine Brennweite von 8 Millimeter bei 4 Millimeter Durchmesser und 2 Millimeter Dicke hatte. Auch scheint Chevalier (l. l. S. 53) der erste gewesen zu sein, der zwischen die Kronglas- und Flintglaslinse Canadabalsam brachte, wodurch die Reflexion beim Durchgange der Lichtstrahlen beseitigt wurde und somit auch die Helligkeit zunahm *). Ein mit solchen

*) Nach Quekett soll Lister zuerst im Jahre 1829 darauf verfallen sein, Canadabalsam zwischen die Linsen zu bringen. Wie dem auch sei, soviel steht fest, dass diese Idee schon viel früher bei den Objectiven von Fernrohren verwirklicht worden ist. Rochon that 1774 dar, dass man die Gesammtwirkung der Linsen sehr verbessert, wenn man Wasser zwischen dieselben bringt. Statt des Wassers nahm Grateloup 1788 einen Mastixfirniss, und so lieferte Putois nach seiner Anweisung mehrere achromatische Objective. Endlich ersetzte Rochon den Mastixfirniss im Jahre 1801 durch einen recht durchsichtigen und flüssigen Terpentin. S. Rochon in den *Mémoires de l'Institut. Floreal, An.* IX, p. 12.

Linsen versehenes Mikroskop legte er anfangs 1825 der *Société d'Encouragement* vor, und der darüber abgestattete Bericht lautete sehr günstig. Mit Unrecht benannte es übrigens Chevalier als Euler'sches Mikroskop; denn seine optische Einrichtung stimmte durchaus nicht mit jener, welche Euler (S. 690) für das achromatische Mikroskop vorgeschlagen hatte.

Angestachelt durch den Erfolg von Selligue und Chevalier wandte sich Amici in Modena dem frühern Unternehmen neuerdings zu und diesmal mit dem besten Erfolge. Bereits zwei Jahre darauf (1827) brachte er sein horizontales achromatisches Mikroskop nach Paris. Jede der dazu gehörigen achromatischen Doppellinsen hatte eine Brennweite von 12 Millimetern. Drei davon übereinander geschraubt, und zwar mit der flachen Seite nach unten, bildeten das Objectiv. Die verschiedenartigen Vergrösserungen wurden durch den Wechsel der Oculare zu Stande gebracht, deren planconvexe Linsen ihre ebenen Flächen nach oben richteten. Diese Stellung der Objectiv- und Ocularlinsen hatte zur Folge, dass auch die sphärische Aberration grösstentheils beseitigt wurde, und so war das Mikroskop nicht blos ein achromatisches, sondern auch ein aplanatisches geworden. Ausserdem hatte Amici ein rechtwinkliges Glasprisma über dem Objectiv in die Röhre gebracht, damit die vom Objecte kommenden Strahlen unter einem rechten Winkel reflectirt würden (S. 171), und so hatte das Rohr, woran die Oculare geschraubt wurden, eine horizontale Stellung. Ein solches rechtwinkeliges Glasprisma hatte aber Newton bereits 1772 in seinem Teleskope angebracht, wie Brewster (*The Life of Sir Isaac Newton*. Lond. 1831, p. 312) meldet.

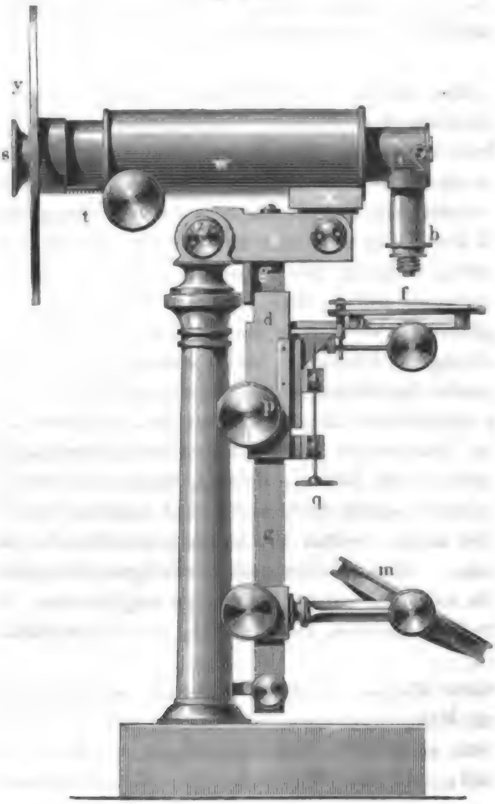
Wir sind jetzt zur letzten Periode in der Geschichte der Entwickelung des zusammengesetzten Mikroskops gekommen. Es hat zwar auch 435
während dieser Periode noch erhebliche Verbesserungen erfahren; der Weg dazu war aber gebahnt, und der Wetteifer, der alsbald entstand zwischen einer grossen Anzahl von Mikroskopverfertigern in verschiedenen Ländern hat sehr viel zu dieser weitern Vervollkommnung beigetragen. Es wird deshalb nöthig, jetzt bei den vorzüglicheren Optikern einzeln zu verweilen und ihre Instrumente zu beschreiben, um dann den gegenwärtigen Zustand des zusammengesetzten Mikroskops im Allgemeinen festzustellen und zu untersuchen, ob man hoffen darf, dasselbe sei auch noch einer künftigen Verbesserung fähig.

Zuerst ist hier Charles Chevalier in Paris (*Palais royal*, *Galerie de Valois* Nr. 163) zu nennen, da er, wie wir gesehen, mit seinem Vater Vincent die ersten achromatischen Objectivsysteme hergestellt hat. Chevalier liefert mehrere Arten von zusammengesetzten Mikroskopen; am vollständigsten ausgestattet ist aber sein *Microscope universel* (Fig. 286 a. f. S.) *).

*) Das Muster dieses Mikroskops ist Amici's horizontalem Mikroskope entnom-

Das Stativ wird auf ein das Mikroskop einschliessendes Kästchen geschraubt. Die horizontale vierseitige Stange *a* ist mit dem Stative durch das Charnier *z* verbunden, und an ihr ist die vierseitige, hinten gezahnte Stange *gg* befestigt. Der Spiegel *m* ist auf der einen Seite concav, auf der andern eben; durch einen geränderten Knopf kann der Spiegel an der Stange *g* auf- und niederbewegt werden.

Fig. 286.



Horizontales Mikroskop von Chevalier.

Der durch Schrauben bewegliche Objecttisch *f* ist an die vierseitige Hülse *d* befestigt, die sich durch Drehung des geränderten Knopfes *p* auf- und niederbewegt. Zur feinern Einstellung dient aber die Schraube *q*.

Der Mikroskopkörper *w* ist in doppelter Richtung beweglich, nämlich horizontal auf *x'* und vertical durch das darunter befindliche Charnier. In dem äussern Rohre bewegt sich eine zweite Röhre, welche durch die gezahnte Stange und durch das Rad *t* hinein- und herausgeschoben wird; auf dieser innern Röhre ist aber eine getheilte Scala angebracht. Bei *r* befindet sich die kurze, am Ende geschlossene Röhre mit dem rechtwinkeligen Glasprisma; sie ist mit *w* durch Bajonetverbindung vereinigt. An das Röhrchen *b* werden die Objectivsysteme geschraubt. Die platte, geschwärzte Scheibe *y* hat eine Oeffnung für das Ocular *s*; sie soll das Auge vor direct einfallendem Lichte bewahren.

In der Stellung, wie das Mikroskop abgebildet ist, sieht man hori-

men, und früher verkaufte es Chevalier auch unter dem Namen des Amici'schen Mikroskops. Späterhin hat er aber mancherlei Veränderungen damit vorgenommen, deren oben Erwähnung geschieht.

zontal durch dasselbe. Das Instrument kann aber auch in die verticale Stellung gebracht werden, indem man den Mikroskopkörper im erwähnten Charnier aufrichtet. Dann muss aber der Theil *r* weggenommen und durch ein anderes Objectivröhrchen ersetzt werden, welches nicht mit abgebildet ist.

Der Theil *r* kann ferner auch aufwärts gerichtet werden, wenn man nämlich ohne Gefahr für die Objectivlinsen chemische Verrichtungen auf dem Objecttische ausführen will, wovon später die Rede sein wird.

Zu diesem Mikroskope gehören drei Linsensysteme, vier Huygens'sche Oculare, eine *Camera lucida*, ein Reflexionspiegel zur Beleuchtung undurchsichtiger Objecte und noch mehrere andere zu mikroskopischen Untersuchungen benutzbare Apparate. Im Preiscourant von 1842 steht es mit 1000 Francs.

Chevalier liefert auch noch ein kleines *Microscope universel*, dessen Einrichtung von der vorigen etwas abweicht, hauptsächlich darin, dass der ganze Mikroskopkörper mit Objecttisch und Spiegel nach oben gekehrt werden kann durch eine blosse Axendrehung an der Spitze des Stativs; überdies lässt es sich auch in ein einfaches Mikroskop umwandeln. Dieses Mikroskop kostet 350 Francs.

Er hat aber auch zusammengesetzte Mikroskope von noch einfacherer Einrichtung angefertigt, ohne ein Glasprisma für die horizontale Stellung, zu dem Preise von 100 bis 250 Francs, je nach der grössern oder geringern Anzahl dazu verlangter achromatischer Linsen, Doublets u. s. w. Doch scheint es mir überflüssig, wenn ich dieselben alle gleich ausführlich beschreiben wollte, wie das zuerst genannte Instrument. — Chevalier ist auch der erste gewesen, der auf Mirbel's Verlangen ein Mikroskop mit einem Glasprisma versah, wodurch man unter einem Winkel von 45° in das Rohr sieht.

Fragen wir nun, in wie weit Chevalier seinen frühern wohlverdienten Ruf auch in der letzten Zeit aufrecht erhalten hat. Ich habe Gelegenheit gehabt, verschiedene Chevalier'sche Mikroskope zu sehen und mit denselben Beobachtungen anzustellen. Die mechanische Einrichtung derselben verdient alles Lob, und hierin können seine Instrumente mit jenen aus den besten Werkstätten wetteifern. Anders verhält es sich dagegen mit dem optischen Theile derselben; hierin scheinen mir manche, die erst später die von ihm eingeschlagene Bahn betreten haben, einen Vorsprung vor Chevalier gewonnen zu haben.

Mit einem Mikroskope aus dem Jahre 1840, wozu drei Linsensysteme gehören, deren jedes aus drei achromatischen Doppellinsen zusammengesetzt ist, erhielt ich folgende Resultate:

Objectiv-system.	Brennweite der äquivalenten Linsen *).	Ocular.	Vergrösserung.	Nobert'sches Probetäfelchen.
	Millimeter.			
Nr. 1	9,27	Nr. 1	196	Erste Gruppe deutlich.
—	—	2	325	Zweite Gruppe deutlich.
2	4,15	1	420	Fünfte Gruppe deutlich.
—	—	2	700	Desgleichen.
3	2,06	1	882	Siebente Gruppe deutlich.
—	—	2	1500	Desgleichen.

Hieraus ist ersichtlich, dass Chevalier schon vor vielen Jahren Objectivsysteme mit sehr kurzer Brennweite anfertigte, zugleich aber auch, dass dieselben nicht jenen Grad von Aplanatismus besassen, den andere Mikroskopverfertiger schon damals erreicht hatten. Dass aber auch Chevalier weiterhin noch Fortschritte gemacht hat, davon habe ich mich durch die Untersuchung eines seiner kleineren Mikroskope aus dem Jahre 1844 überzeugt, wozu zwei Systeme von 5,72 und 3,18 Millimeter Brennweite gehören. Mit dem letztern war bei 308maliger Vergrösserung noch die sechste Gruppe des Nobert'schen Täfelchens zu erkennen.

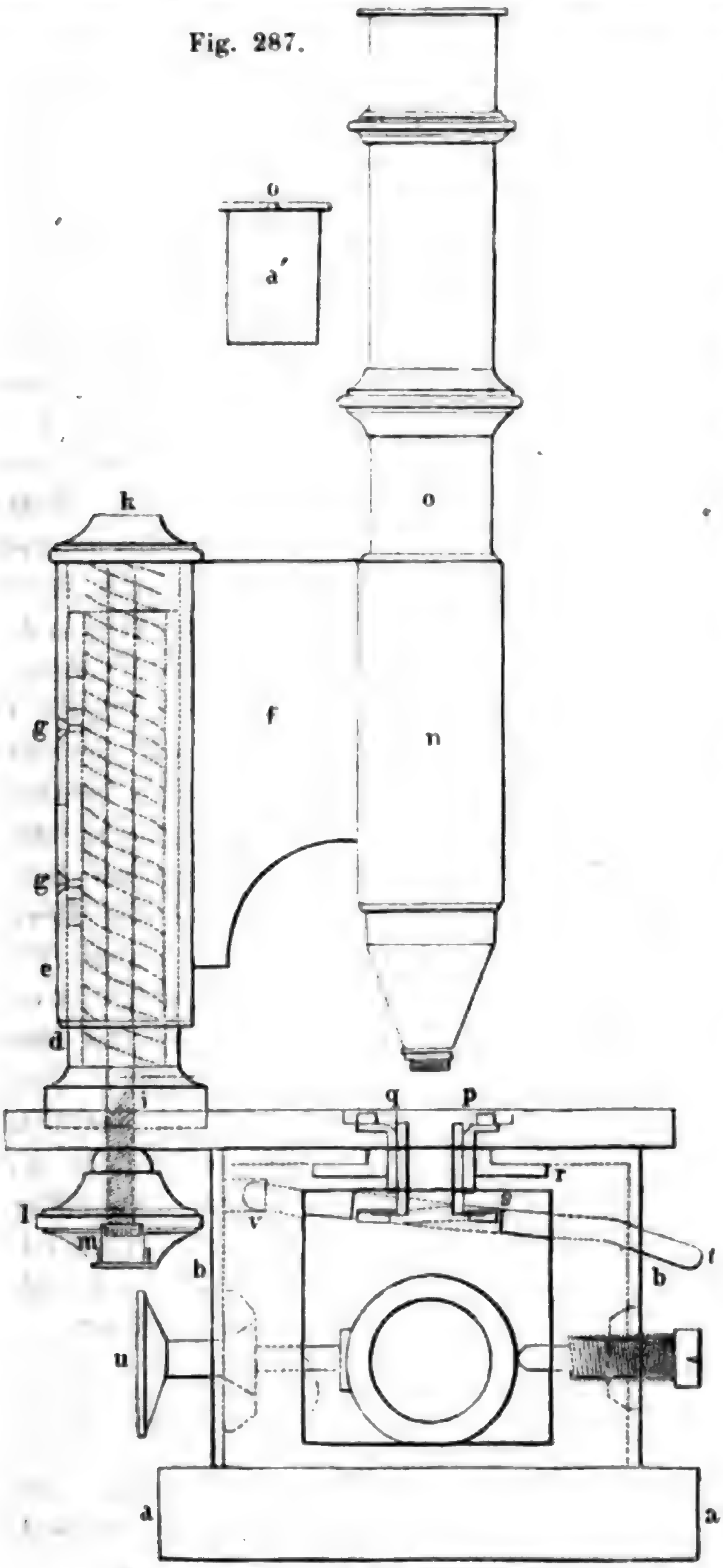
Es stand zu erwarten, dass der günstige Erfolg, welchen beide Chevalier erreichten, bald auch andere dazu verlocken würde, ihre Kräfte zu versuchen. Die ersten Nachfolger in Paris waren Trécourt, Bouquet und Georg Oberhäuser; ihren vereinigten Bemühungen gelang es im Jahre 1830, Mikroskope zu Stande zu bringen, welche es wirklich den Chevalier'schen, deren eines ihnen zum Muster gedient hatte, zuvorthaten **). Dabei kommt ihnen das Verdienst zu, eingesehn zu haben, dass, wenn die neuere Mikroskopverbesserung für die Wissenschaft und deren Jünger wirklich fruchtbringend sein sollte, die mechanische Einrichtung möglichst einfach sein müsste, damit der geringere Preis es auch den weniger bemittelten Naturforschern möglich machte, sich ein zu den meisten Beobachtungen brauchbares Instrument anzuschaffen. Namentlich hat sich der in Anspach geborne Georg Ober-

*) Die Brennweiten äquivalenter Linsen sind hier sowohl wie in den weiterhin zu erwähnenden Fällen nach der früher (§. 116) angegebenen Weise bestimmt.

**) Einige Jahre später entstand ein Federkrieg über die relative Tüchtigkeit ihrer Mikroskope, durch ein paar Artikel von Saigey im Feuilleton des „National“ (Aout 1835) hervorgerufen, worin Trécourt's Mikroskop angepriesen wurde. Ch. Chevalier antwortete darauf. Später gab dann Chevalier die Artikel Saigey's und seine eigenen unter dem Titel heraus: *Notes rectificatives pour servir à l'histoire des microscopes.* Paris 1835, in welchem Schriftchen manche Einzelnheiten über die erste Verfertigung achromatischer Mikroskope in Paris zu finden sind.

häuser (wohnhaft in Paris, Place Dauphine Nr. 21) in dieser Hinsicht grosse Verdienste erworben. Nachdem er sich von den beiden vorhin genannten Compagnons getrennt hatte, arbeitete er seit einer Reihe von Jahren für sich allein, und es giebt keine zweite Werkstatt, aus der eine gleich grosse Anzahl von Mikroskopen hervorgegangen ist. Ich erhielt von ihm im Jahre 1848 ein grosses Mikroskop, Nr. 1550, und Professor W. Vrolik empfing am 7. März 1850 das Mikroskop Nr. 1786, so dass also in noch nicht ganz anderthalb Jahren 236 Mikroskope aus dieser Werkstatt gekommen sind. Bis jetzt sind weit über 3000 Mikroskope aus derselben hervorgegangen.

Fig. 287.



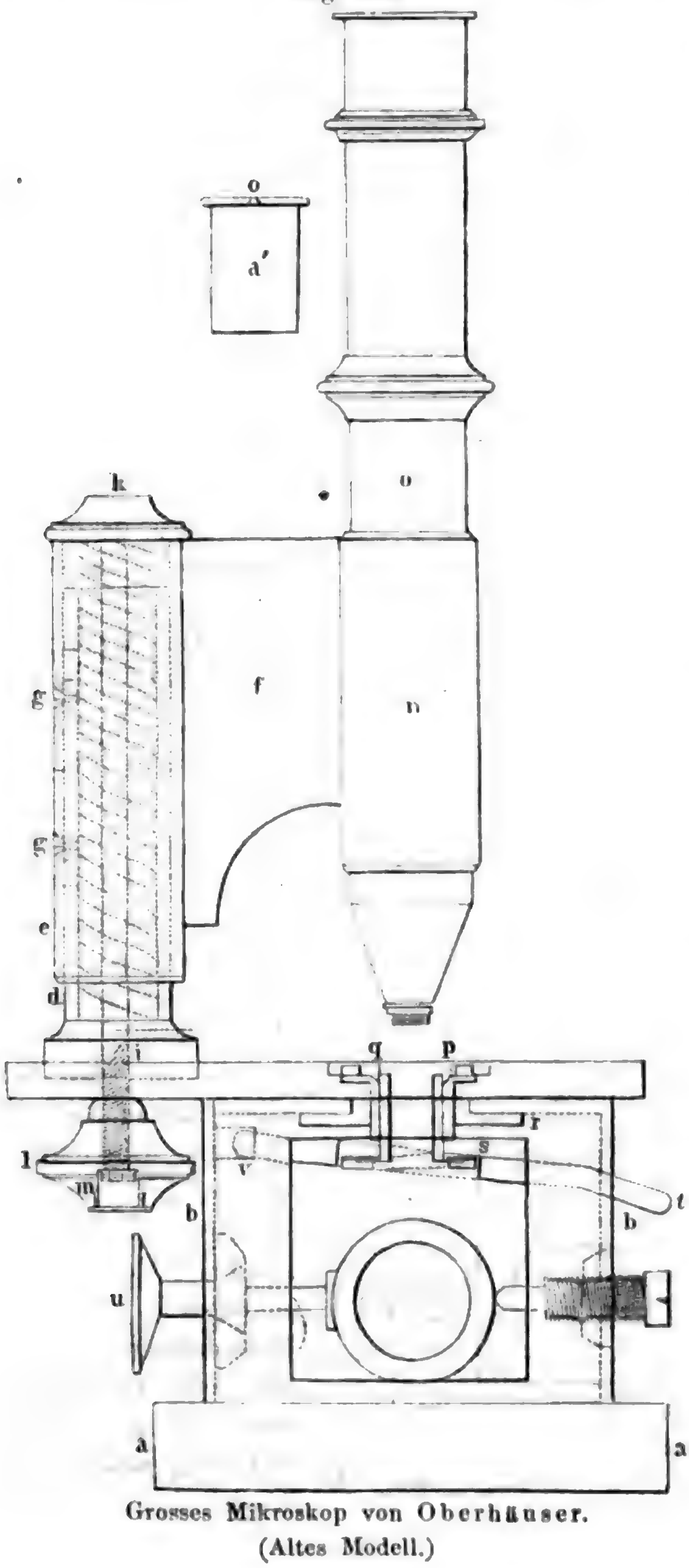
Grosses Mikroskop von Oberhäuser. (Altes Modell.)

Seit ein paar Jahren hat sich Oberhäuser mit E. Hartnack vereinigt und die neueren Mikroskope aus dieser Werkstatt tragen beider Namen.

Während der Reihe von Jahren, wo sich Oberhäuser mit der Verfertigung von Mikroskopen beschäftigte, hat er allmälig in ihrer Einrichtung einige Modificationen eintreten lassen. Als *Grand Microscope achromatique* lieferte er bis vor 10 Jahren ein Instrument, welches, gerade von vorn angesehen, nach Mohl in Fig. 287 dargestellt ist. In der

allgemeinen Form weicht dasselbe in mehreren Hinsichten von den früheren Mikroskopen ab, namentlich in Betreff des Fusses. Dieser Fuss *aa* ist eine schwere, mit Blei gefüllte Trommel, auf welche eine kurze aber weite cylinderische Röhre *bb* geschraubt wird, die vorn eine vierseitige Oeffnung hat. Der grosse runde Objecttisch lässt sich um seine Axe drehen, indem die damit verbundene Scheibe *r* sich in einer runden Oeffnung oben in der Röhre *bb* bewegt. In dem Objecttische, gleich mit dessen Rande, befindet sich eine schwarze, matt geschliffene Glasscheibe, die ganz eben ist; doch können zwei Klemmfedern in dafür bestimmte Oeffnungen kommen, um die Objecte fest zu halten. Auf einer seitlichen Verlängerung dieses Objecttisches ist die runde hohle Säule *d* aufgeschraubt. Diese liegt der Röhre *e* genau an, die durch eine starke Spiralfeder in der hohlen Säule *d*, welche an das obere, knopfförmig geschlossene Ende *k* der Röhre *e* stösst, nach aufwärts gedrückt wird. An dem Knopfe *k* ist die feine Schraube *i* befestigt, deren anderes Ende unter dem Objecttische herauskommt, wo sie einen geränderten

Fig. 288.



Grosses Mikroskop von Oberhäuser.
(Altes Modell.)

Knopf *l* mit einer Mutterschraube trägt. Durch Umdrehen dieses Knopfes wird die Schraube und mit dieser die Röhre *e* sowie das daran befestigte Mikroskoprohr nach unten gezogen; beim Zurückdrehen der Mutterschraube dagegen werden diese Theile durch die Spiralfeder nach oben bewegt. Den Bewegungen der Mutterschraube ist dadurch eine Grenze gesetzt, dass sie eine kleine Höhle enthält für die auf das Schraubenende geschraubte kleine Scheibe *m*, um die Auslösung der Schraubenmutter zu verhindern, und um anderntheils, wenn sie auf den Boden der Höhle stösst, das zu tiefe Herabsteigen der Schraube zu hemmen. Dem Drehen der Röhre *e* in horizontaler Richtung um die Säule *d* ist dadurch vorgebeugt, dass ein Theil der letztern ausgeschnitten und durch die Schrauben *gg* an die umgebende Röhre befestigt ist; so hat man einen Schieber, der nur eine Bewegung in senkrechter Richtung zulässt. An die Röhre *e* ist durch den Arm *f* die seitlich aufgeschnittene und dadurch federnde Röhre *n* befestigt, in der sich das Mikroskoprohr *o* auf- und niederschieben lässt.

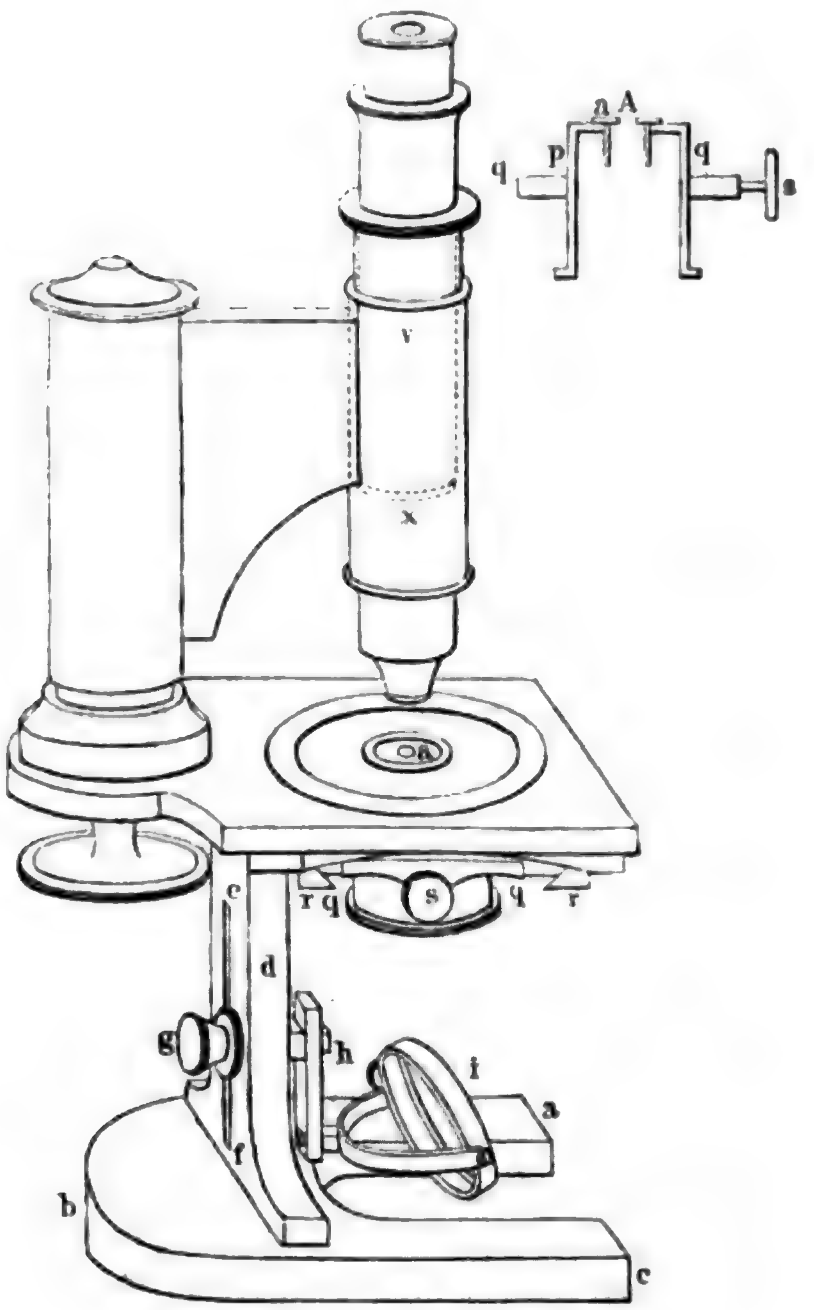
Der Beleuchtungsapparat besteht aus folgenden Theilen. Gegenüber dem Rohre *b b* steht der Spiegel, welcher durch den nach aussen vorragenden Knopf *u* nur um seine horizontale Axe drehbar ist; derselbe ist auf der einen Seite eben, auf der andern concav, und er befindet sich in solcher Entfernung von dem Objecttische, dass ein darauf liegendes Object gerade den Brennpunkt des Spiegels einnimmt. In der Oeffnung des Objecttisches steckt eine Röhre *p*, in der sich eine zweite Röhre *q* auf- und niederschieben lässt, welche zur Aufnahme von Diaphragmen bestimmt ist; es ist ein kurzes Röhrchen *a'*, welches unten offen ist und an der sonst geschlossenen oberen Seite eine verschieden weite Oeffnung besitzt. Die Röhre *q* endigt unten in einen horizontal nach aussen vorspringenden Rand, welcher in die Höhlung des Ringes *s* aufgenommen wird; dieser aber ruht auf dem Hebel *t*, der seine Hypomochlium in *v* hat, so dass durch ihn die Röhre *q* und damit die Diaphragmen in der Röhre *p* höher und niedriger gestellt werden können. Somit lässt sich das vom Spiegel kommende Lichtbündel hierdurch dünner oder breiter machen.

Ohne Zweifel gewährt dieses Gestell grosse Vortheile bei der praktischen Benutzung des Mikroskops. Durch den schweren Fuss wird einem möglichen Umwerfen des Instruments vorgebeugt, und die Festigkeit des Ganzen gewinnt dadurch. Das Ocular steht so hoch über dem Tische, dass jemand von mittlerer Grösse sitzend daran arbeiten kann, was doch bei langwährenden Untersuchungen auch in Betracht zu ziehen ist. Ferner ist der grosse Objecttisch für viele Fälle recht zweckmässig. Endlich sind auch die Mittel, um das Mikroskop in die richtige Entfernung vom Objecte zu bringen, gut und zweckmässig ausgedacht. Das Nämliche lässt sich nicht vom Beleuchtungsapparate sagen, namentlich vom Spiegel; bei der beschränkten Bewegung passt er nur für centrische Beleuchtung, nicht aber für excentrische.

Oberhäuser hat diese Mängel selbst eingesehen, und im Jahre 1848 brachte er an dem eben beschriebenen Gestelle einige Veränderungen an, wodurch ihnen abgeholfen worden ist, ohne jedoch die früheren Vorzüge aufzugeben. Dieses neuere Mikroskop ist Fig. 289 von der Seite in perspectivischer Ansicht dargestellt.

Statt der mit Blei gefüllten Trommel hat es einen schweren hufeisenförmig gestalteten Bogen *abc* aus Messing, auf dem sich nach hinten rechtwinkelig das kurze und schwere, unten breit anfangende Stück *d* erhebt, welches in der Mitte den Ausschnitt *ef* besitzt. In diesem Ausschnitte bewegt sich ein vierseitiges Stück mit dem Knopfe *g*. Vorderhalb des Ausschnitts steht dies vierseitige Stück mit der Kurbel *h* in Verbindung, die sich vertical herumdrehen lässt, so dass der daran befestigte Spiegel *i* in alle Stellungen kommen und höher oder tiefer gestellt werden kann. Bei dieser neuen Einrichtung konnte auch der frühere Hebel zum Auf- und Niederbewegen der Diaphragmen wegfallen; denn da der Objecttisch ganz frei ist, lässt sich dies ganz leicht mit der Hand ausführen. Bei *A* ist im Durchschnitte dargestellt, wie das Diaphragma *a* in der Röhre *p* steckt, die ihrerseits in einer runden Oeffnung des vierseitigen Stücks *qq* gleitet. Dieses hat schief abgeschnittene Ränder, welche in einen weiten schwalbenschwanzförmigen Ausschnitt *rr* unter dem Objecttische passen. Der Knopf *s*, welcher mit dem vierseitigen Stücke *qq* verbunden ist, dient dazu, um es herauszunehmen; mittelst dessel-

Fig. 289.



Grosses Mikroskop von Oberhäuser.
(Neueres Modell.)

ben kann man aber auch die Oeffnung des Diaphragma etwas aus der Axe des Instruments bewegen, so dass der Randschatten ins Gesichtsfeld trifft, was in manchen Fällen sein Gutes hat.

Der Objecttisch ist ebenfalls etwas verändert. Er ist vierseitig und hat etwa 10 Centimeter Durchmesser; statt der schwarzen Glasplatte kommt eine messingene Scheibe, die gleich dem schwarzen Objecttische selbst matt schwarz gemacht ist, in die grosse kreisförmige Höhle desselben, so dass dieser nun eine ganz ebene Oberfläche hat mit einer kleinen runden Oeffnung in der Mitte.

Die übrigen Einrichtungen des frühern Mikroskops, nämlich das Umdrehen des Objecttisches zugleich mit dem Mikroskopkörper, die Säule mit der Schraube und Spiralfeder, desgleichen der breite Arm, welcher das Mikroskoprohr trägt, sind unverändert geblieben. Nur besteht das Mikroskoprohr aus zwei Röhren, von denen die obere *v* in der untern *x* sich auf- und niederschiebt, um den Abstand zwischen Ocular und Objectiv zu vermehren und zu vermindern. Ist das innere Rohr ausgezogen, dann steht das Ocular 36 Centimeter über dem Tische, ist es dagegen ganz hineingeschoben, nur 30 Centimeter; man kann daher bequem im Sitzen arbeiten.

Durch diese Aenderungen ist das Gestell des grossen Oberhäuser'schen Mikroskops wirklich sehr verbessert worden. Wir werden zwar weiterhin noch einige andere kennen lernen, die es ihm in der zierlichen Form, in der künstlichen Bewegung und in mancherlei Bequemlichkeiten für den wenig Geübten voraus thun; aber ich kenne keines, dem ich vor ihm den Vorzug geben möchte, wenn es darauf ankommt, nicht blos zwischendurch einmal während einiger Augenblicke durch das Mikroskop zu sehen, sondern täglich einige Stunden damit zu arbeiten. — Der Beleuchtungsapparat ist allerdings kein vollkommener, er reicht aber für die meisten Untersuchungen aus. Uebrigens ist zwischen dem Fusse und dem Objecttische Raum genug vorhanden, um einen vollständigen Beleuchtungsapparat anzubringen, wie ich es bei meinem Instrumente gethan habe, das ich später geeigneten Orts beschreiben werde.

Ausser diesem Gestelle für ihr grösstes Mikroskop haben Oberhäuser und Hartnack noch sechs andere, und ausserdem noch ein bildumkehrendes Dissectionsmikroskop, von dem später die Rede sein wird. Diese anderen Mikroskopgestelle sind einfacher und deshalb wohlfeiler, und es ist gerade Oberhäuser's Verdienst, gute Mikroskope zu einem auch vom Unbemittelten zu erschwingenden Preise geliefert zu haben. Viele andere sind dann diesem Beispiele gefolgt. Aber es ist die Pflicht des Geschichtsschreibers, hervorzuheben, dass Oberhäuser es den jüngeren Naturforschern möglich gemacht hat, sich um weniges Geld brauchbare Instrumente zu wissenschaftlichen Untersuchungen zu verschaffen, und dass er hierdurch zur Ausbreitung mikroskopischer Kenntnisse wirksam beigetragen hat.

Die kleineren Oberhäuser'schen Mikroskopgestelle *) haben auch eine weit grössere Verbreitung gefunden, als die grösseren Instrumente. Die, welche Oberhäuser in früheren Jahren lieferte, hatten übrigens einen sehr kleinen Objecttisch, so dass man nur sehr schmale Objectgläschen benutzen konnte. Neuerer Zeit ist dieser Unvollkommenheit abgeholfen worden, und ausserdem wurde die Schraube zur feinen Einstellung, die sich früherhin zur Seite des Objecttisches befand, unten angebracht, gleichwie bei den grösseren Mikroskopen. Der trommelförmige Fuss ist aber geblieben, und folglich ist der nur in Einer Richtung bewegliche Spiegel nicht passend zur excentrischen Beleuchtung.

Eine weit grössere Bedeutung, als das Vorhandensein dieses oder jenes Gestelles, haben auch hier, wie bei allen anderen Mikroskopen, die dazu gehörigen Linsensysteme und Oculare. Oberhäuser hat elf verschiedene Linsensysteme, die er als Nr. 1, 2, 3, 4, 4 A, 4 B, 5, 6, 7, 8, 9 bezeichnet. Ich füge in der folgenden Tabelle die Brennweiten und die Vergrösserung der äquivalenten Linsen bei, denen jene der Systeme ungefähr entsprechen:

	Brennweite.	Vergrösserung.
	Millimeter.	
Nr. 1	65	5
2	33	9
3	22	13
4	13,02	20
4 A	8,5	30
4 B	7,7	34
5	6,5	40
6	5,4	49
7	3,22	80
8	2,50	101
9	1,70	148

Natürlicherweise sind diese Brennweiten nicht immer vollkommen gleich für alle Systeme, welche die nämliche Nummer haben. Ich habe

*) Es muss aber bemerkt werden, dass diese Form des Mikroskopgestelles zum ersten Male bei dem im Jahre 1739 verfertigten Martin'schen Taschenmikroskope vorkommt, dass sie seitdem von verschiedenen Optikern für ihre weniger kostbaren Mikroskope benutzt wurde, wenngleich immer mit einigen Modificationen und mehr oder weniger erheblichen Verbesserungen, so nach Martin von Brander, nach diesem von Frauenhofer, weiterhin von Trécourt und Oberhäuser, denen nun gegenwärtig mehrere französische und deutsche Verfertiger von Mikroskopen folgen.

aber gefunden, dass bei Mikroskopen, die kurz nach einander geliefert waren, der Unterschied zwischen den gleichnamigen Linsensystemen wirklich nur unbedeutend ist. Auch muss ich noch bemerken, dass die vorstehenden Werthe nur für Nr. 4, 7, 8 und 9 durch directe Versuche festgestellt worden sind, die übrigen aber aus den von Oberhäuser selbst in seinem Preiscourant angegebenen Vergrösserungen mit dem ersten Oculare berechnet und also nur annähernd richtig sind.

Es gehören dazu fünf Oculare, alle mit Huygens'scher Einrichtung. Bei einem Mikroskope vom Jahre 1849 verhält sich ihr Vergrösserungsvermögen in folgender Weise zu einander:

Nr. 1.		Nr. 2.		Nr. 3.		Nr. 4.		Nr. 5.
1	:	1,04	:	1,30	:	2,55	:	2,93

Der Durchmesser ihres Gesichtsfeldes für 25 Centimeter Sehweite ist:

106	80	130	168	176 Millimeter.

Bei der gewöhnlichen Länge, welche Oberhäuser seinem Mikroskoprohre giebt, wächst die Vergrösserung des Objectivsystems durch das erste oder schwächste Ocular etwa 2,5 Mal. Aus den vorstehenden Daten kann demnach jeder, der ein Mikroskop von Oberhäuser bestellen will, sich vorher ohne viele Mühe ziemlich genau berechnen, wie die verschiedenen Combinationen von Objectivsystemen und Ocularen vergrössern, und welche er mithin zu verlangen hat je nach den besonderen Zwecken, wozu er das Mikroskop benutzen will. Die schwächste Vergrösserung erhält man mit Objectiv Nr. 1 und Ocular Nr. $1 = 5 . 2{,}5 = 12^1/_2$ Mal; die stärkste mit Objectiv Nr. 9 und Ocular Nr. $5 = 148 . 2{,}5 . 2{,}93 = 1084$ Mal.

Seine kleineren Mikroskope versieht Oberhäuser gewöhnlich mit den Objectiven Nr. 4 u. 7, und mit den Ocularen Nr. 2 u. 3; die Vergrösserung wechselt dann von 40 bis zu 240. Ocular Nr. 3 u. 4 verdienen aber den Vorzug, da mit dem letztern nicht blos die Vergrösserung wächst, sondern auch, wie sich sogleich zeigen wird, das optische Vermögen etwas zunimmt, selbst bei den stärkeren Systemen. Wendet man noch ein paar Gulden mehr an und nimmt auch das Objectivsystem Nr. 8 dazu, so wird man selten in den Fall kommen, eines noch vollständigeren optischen Apparats zu bedürfen.

Die folgenden Resultate der Untersuchung des oben beschriebenen, im Jahre 1848 von Oberhäuser empfangenen grossen Mikroskops können für die Beurtheilung des optischen Vermögens der damals von ihm gelieferten Instrumente maassgebend sein. Es wird aber genügen, wenn ich blos das anführe, was ich mit seinen drei stärksten Linsensystemen gefunden habe.

Linsen-system.	Brenn-weite.	Oeffnungs-winkel *).	Ocular.	Vergrösse-rung.	Nobert's Probetäfelchen **).
Nr. 7	3,22^{mm}	58°	Nr. 3	268	Siebente Gruppe deutlich.
—	—	—	4	501	Dieselbe noch deutlicher.
8	2,50	60	3	345	Desgleichen.
—	—	—	4	646	Sechste Gruppe deutlich.
9	1,70	63	3	520	Neunte Gruppe eben deutlich.
—	—	—	4	951	Achte Gruppe deutlich.

In der folgenden Tabelle habe ich die Grenzen der Sichtbarkeit und der Unterscheidbarkeit bei Benutzung eines Oberhäuser'schen Mikroskops zusammengestellt:

Linsen-system.	Ocular.	Vergrösse-rung.	Kugelförmige Objecte.	Fadenförmige Objecte.	Drahtnetz: Drähte.	Drahtnetz: Maschen-räume.
Nr. 7	Nr. 3	268	0,274^{mmm} $\frac{1}{3650}$ mm	0,0343^{mmm} $\frac{1}{29100}$ mm	0,261^{mmm} $\frac{1}{3840}$ mm	0,429^{mmm} $\frac{1}{2330}$ mm
	4	501	0,266^{mmm} $\frac{1}{3760}$ mm	0,0308^{mmm} $\frac{1}{32500}$ mm	0,224^{mmm} $\frac{1}{4470}$ mm	0,368^{mmm} $\frac{1}{2720}$ mm
	5	577	0,287^{mmm} $\frac{1}{3490}$ mm	0,0290^{mmm} $\frac{1}{34500}$ mm	0,228^{mmm} $\frac{1}{4400}$ mm	0,375^{mmm} $\frac{1}{2660}$ mm
Nr. 8	Nr. 3	345	0,233^{mmm} $\frac{1}{4290}$ mm	0,0300^{mmm} $\frac{1}{33300}$ mm	0,234^{mmm} $\frac{1}{4280}$ mm	0,385^{mmm} $\frac{1}{2600}$ mm
	4	646	0,249^{mmm} $\frac{1}{4020}$ mm	0,0273^{mmm} $\frac{1}{37000}$ mm	0,220^{mmm} $\frac{1}{4560}$ mm	0,363^{mmm} $\frac{1}{2750}$ mm
	5	743	0,268^{mmm} $\frac{1}{3740}$ mm	0,0260^{mmm} $\frac{1}{38500}$ mm	0,232^{mmm} $\frac{1}{4310}$ mm	0,380^{mmm} $\frac{1}{2630}$ mm
Nr. 9	Nr. 3	520	0,206^{mmm} $\frac{1}{4850}$ mm	0,0231^{mmm} $\frac{1}{43300}$ mm	0,201^{mmm} $\frac{1}{4970}$ mm	0,333^{mmm} $\frac{1}{3000}$ mm
	4	951	0,230^{mmm} $\frac{1}{4350}$ mm	0,0234^{mmm} $\frac{1}{42800}$ mm	0,180^{mmm} $\frac{1}{5550}$ mm	0,297^{mmm} $\frac{1}{3840}$ mm
	5	1084	0,234^{mmm} $\frac{1}{4280}$ mm	0,0240^{mmm} $\frac{1}{41700}$ mm	0,179^{mmm} $\frac{1}{5580}$ mm	0,295^{mmm} $\frac{1}{3390}$ mm

*) Der Oeffnungswinkel ist nach der Lister'schen Methode (§. 122) bestimmt worden. — **) Siehe S. 613, Anm.

Diese Zahlen liefern gewiss Beweise für die Tüchtigkeit der Oberhäuser'schen Mikroskope. Wenn wir auch bald sehen werden, dass andere einen noch etwas höheren Grad des optischen Vermögens erreicht haben, so darf sich der Besitzer eines Oberhäuser'schen Instruments, dem die stärksten Linsensysteme beigegeben sind, doch darauf verlassen, dass er damit ziemlich alle mit den heutigen Mikroskopen ausführbaren Beobachtungen zu wiederholen im Stande sein wird.

Ich habe keine Gelegenheit gehabt, grössere Mikroskope mit stärkeren Objectivsystemen zu untersuchen, die aus der veränderten Oberhäuser'schen Firma hervorgegangen sind. Ein kleines Mikroskop, das ich erst vor ein paar Monaten erhielt, und wozu wie gewöhnlich die Objectivsysteme Nr. 4 und 7 und die Oculare Nr. 2 und 3 gehören, steht im optischen Vermögen ganz auf derselben Stufe mit den gleichen Instrumenten, die zehn Jahre früher geliefert worden waren.

Man kann von Oberhäuser und Hartnack Mikroskope zu den verschiedensten Preisen bekommen, von 650 Francs an bis zu 60 Francs; um den ersten Preis bekommt man das neue grosse Mikroskop mit vier Objectivsystemen (Nr. 4, 7, 8 und 9) und fünf Ocularen nebst fernerem Zubehör, um den letztern erhält man das kleinste Mikroskop, das sogenannte *Microscope d'hospice*. Recht gut und für die meisten Untersuchungen ausreichend sind die Mikroskope, welche man für 140 Francs bekommt. Dazu gehören zwei Objectivsysteme (Nr. 4 und 7) und zwei Oculare, und die Vergrösserungen damit gehen etwa bis zu 270.

Man kann aber auch eine grössere Anzahl von Objectiven und Ocularen verlangen. Jedes Ocular kostet 10 Francs. Der Preis der Objectivsysteme ist:

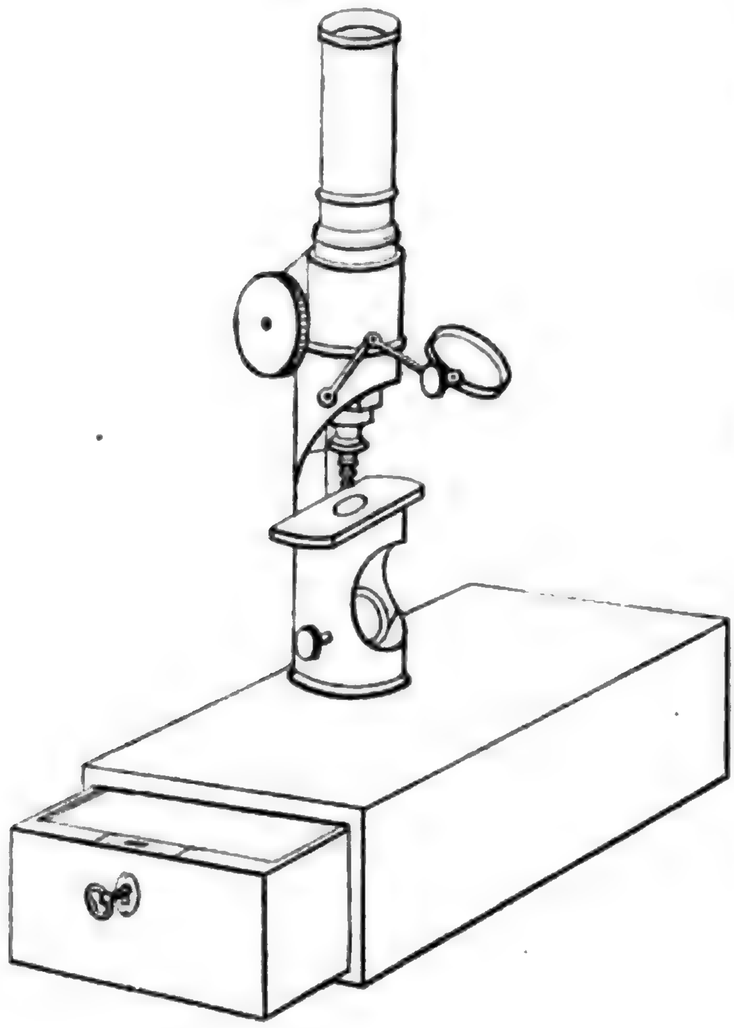
Nr. 1	12 Francs
» 2, 3, 4, jedes	20 »
» 4 A, 4 B, 5, 6 und 7, jedes . .	35 »
» 8	40 »
» 9	60 »

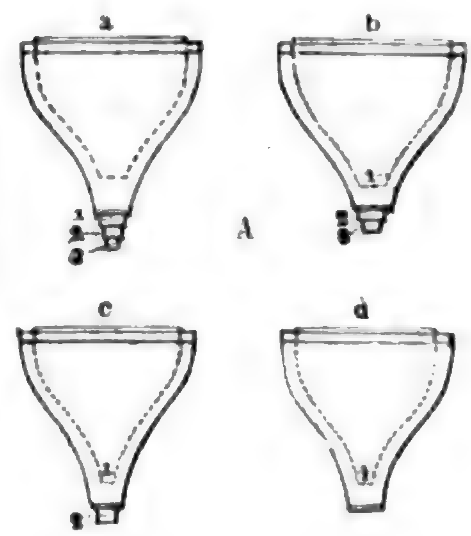
Werden noch einzelne Einrichtungen dazu genommen, etwa eine Camera lucida, ein Glasmikrometer, ein Compressorium u. s. w., dann wird natürlich der Preis im Verhältniss ein höherer.

Zu den Verfertigern optischer Instrumente in Paris gehört auch N. P. Lerebours (*Place du pont neuf*). Ich bin aber zu wenig mit seinen Instrumenten bekannt, um mir hier ein bestimmtes Urtheil darüber zu erlauben. Nach seinem Preiscourant kosten die grösseren Mikroskope, je nachdem sie mehr oder weniger vollständig sind, 160 bis 400 Francs. Seit 1838 liefert er auch kleine achromatische Mikroskope (Fig. 290 a. f. S.), deren Objectiv eine eigenthümliche bei *A* dargestellte Zusammensetzung hat. Es besteht nämlich aus zwei Hohlkegeln, deren einer in den andern passt. Beide haben am untern Ende einen Schraubengang, um die Röhrchen mit den achromatischen Doppel-

linsen aufzuschrauben. Es sind nur drei solche Linsen, damit lassen sich aber vier verschiedene Objective herstellen auf die unter *a*, *b*, *c* und *d* angegebene Weise. Mit zwei Ocularen hat man also acht verschiedene Vergrösserungen, die bei einem von mir untersuchten Mikroskope dieser Art von 41 bis zu 406 gingen.

Fig. 290.





Kleines Mikroskop von Lerebours.

Ist dieser Versuch einer Vereinfachung auch an sich lobenswerth, so können doch auf dem von Lerebours eingeschlagenen Wege unmöglich so günstige Resultate erlangt werden als mit Linsensystemen, deren einzelne Linsen in solchen bestimmten Abständen mit einander vereinigt sind, wobei die Aberrationen laut vorausgegangenen Versuchen am besten verbessert werden. Auch habe ich mit einem solchen Mikroskope nur die fünfte Gruppe des Nobert'schen Probetäfelchens deutlich sehen können, während mit mehreren der kleinen Mikroskope Oberhäuser's, ungeachtet der schwächern Vergrösserung, stets die sechste und mit einigen selbst die siebente Gruppe deutlich wurde. Der Preis dieses Lerebours'schen Mikroskops beträgt übrigens nur 65 bis 90 Francs, je nachdem ein Ocular oder zwei Oculare und ausserdem eine Beleuchtungslinse für auffallendes Licht beigegeben sind.

Ferner liefert Brunner in Paris (*Rue des Bernardins*, Nr. 34) zusammengesetzte Mikroskope, die in der Einrichtung und im Preise verschieden sind. Seine grösseren Instrumente haben in der mechanischen Einrichtung manches mit den Oberhäuser'schen gemein. Der trommelförmige Fuss und die kurze, weite, darauf ruhende Röhre, welche den

Spiegel enthält, haben ziemlich die gleiche Form; statt der röhrenförmigen Diaphragmen Oberhäuser's findet sich aber bei Brunner eine drehbare Scheibe mit sechs Oeffnungen. Der Objecttisch ist auch kreisrund und lässt sich um seine Axe drehen; diese Drehung findet aber für sich allein statt, ohne dass das Mikroskoprohr daran Theil nimmt. Diese Einrichtung ist für die Winkelmessung von Krystallen bestimmt: der Rand des Objecttisches ist in Grade getheilt, und mit einem seitlich angebrachten Nonius sind auch noch die Minuten ablesbar. Sodann lässt sich der Objecttisch durch zwei Schrauben bewegen, deren eine zugleich als Mikrometer dient. Die gröbere Einstellung wird nicht, wie bei Oberhäuser, durchs Auf- und Niederschieben des Mikroskoprohrs mit der Hand ausgeführt, sondern durch einen Trieb, und die feine Einstellung wird durch das Umdrehen einer Schraube bewirkt. Das Mikroskoprohr lässt sich verlängern und verkürzen, wie bei den späteren Oberhäuser'schen Mikroskopen.

Die mechanische Einrichtung eines im Jahre 1845 verfertigten Instruments, das ich zu untersuchen Gelegenheit hatte, verdient alles Lob; alles ist gut und sorgfältig gearbeitet. Es gehören dazu fünf Linsensysteme und drei Huygens'sche Oculare. Dazu kommen noch mehrere Hülfsapparate, unter andern auch ein gebogenes Ocular mit einem davor befindlichen Prisma, um unter einem Winkel von 45° zu beobachten. Das Ganze kostet nur 600 Francs, ein bei der grossen Zusammensetzung gewiss nur mässiger Preis.

Die Brennweiten sind:

Objectiv Nr.	1	27,30mm
„ „	2	12,26
„ „	3	2,13
„ „	4	1,93
„ „	5	1,48

Mit dem Nobert'schen Probetäfelchen erhielt ich folgende Resultate:

Linsen-system.	Ocular.	Vergrösserung.	Nobert'sches Probetäfelchen.
Nr. 3	Nr. 1	302	Sechste Gruppe deutlich.
	2	377	Desgleichen.
	3	578	Desgleichen.
Nr. 4	Nr. 1	419	Desgleichen.
	2	524	Siebente Gruppe deutlich.
	3	804	Desgleichen.
Nr. 5	Nr. 1	785	Achte Gruppe deutlich.
	2	980	Desgleichen.
	3	1508	Siebente Gruppe deutlich.

Man ersieht hieraus, dass dieses Mikroskop, ungeachtet der ungemein kurzen Brennweite des stärksten Objectivs, im optischen Vermögen dennoch dem vorhin (S. 710) beschriebenen Oberhäuser'schen Instrumente nachsteht. Freilich ist das letztere einige Jahre später gearbeitet, und es ist recht wohl möglich, dass Brunner inzwischen auch gleiche Fortschritte gemacht hat.

Brunner verfertigt auch sehr kleine achromatische Mikroskope, die man namentlich bequem soll bei sich tragen können. Dazu gehören zwei Objectivsysteme und eine einzelne achromatische Linse; die Vergrösserungen gehen bis 800 Mal im Durchmesser. Die mechanische Einrichtung derselben kenne ich nicht. Das ganze Kästchen mit dem Mikroskope ist aber nur 4 Pariser Zoll lang, 2 Zoll breit und 1 Zoll hoch, und ausser den nothwendigen Stücken hat man darin auch noch Glastäfelchen, eine Scheere, ein Messerchen und eine Nadel. (*Edinb. monthly Journ. of med. Sc.* 1846. Dec. p. 418.)

In den letzten Jahren hat sich in Paris besonders Nachet. (*Nachet et fils*, *Rue Serpente* Nr. 16) durch Verfertigung vorzüglicher Mikroskope vortheilhaft bekannt gemacht. Zuerst wurden seine stärkeren Objective im Jahre 1845 von Lebert rühmlich erwähnt. Seit 1849 habe ich Gelegenheit gehabt, viele der von Nachet bis in die letzte Zeit gelieferten Instrumente zu untersuchen, wobei ich mich davon überzeugt habe, dass er sich die Verbesserung seiner Instrumente fortwährend hat angelegen sein lassen, in der mechanischen sowohl als in der optischen Einrichtung. Ich muss hinzufügen, dass namentlich sein Besuch der Londoner Weltausstellung, wo er die vorzüglichen Mikroskope von Ross, von Powell und von Smith kennen lernte, für ihn fruchtbar gewesen ist. Früherhin hat er sich vorzüglich die Instrumente von Oberhäuser als Muster genommen; in der letztern Zeit aber die genannten englischen Optiker, jedoch nicht als sklavischer Nachahmer, sondern immer mit einigen Veränderungen in der mechanischen Einrichtung, die sich in der Regel als eben so viele Verbesserungen erweisen.

Nachet verfertigt neun verschiedene Objectivsysteme, die stärkeren, wenn es verlangt wird, auch mit einer Verbesserungseinrichtung für den Gebrauch verschieden dicker Deckplättchen versehen, ganz nach der später zu beschreibenden Methode von Ross.

Folgendes sind die Brennweiten*) und die Preise dieser Objective:

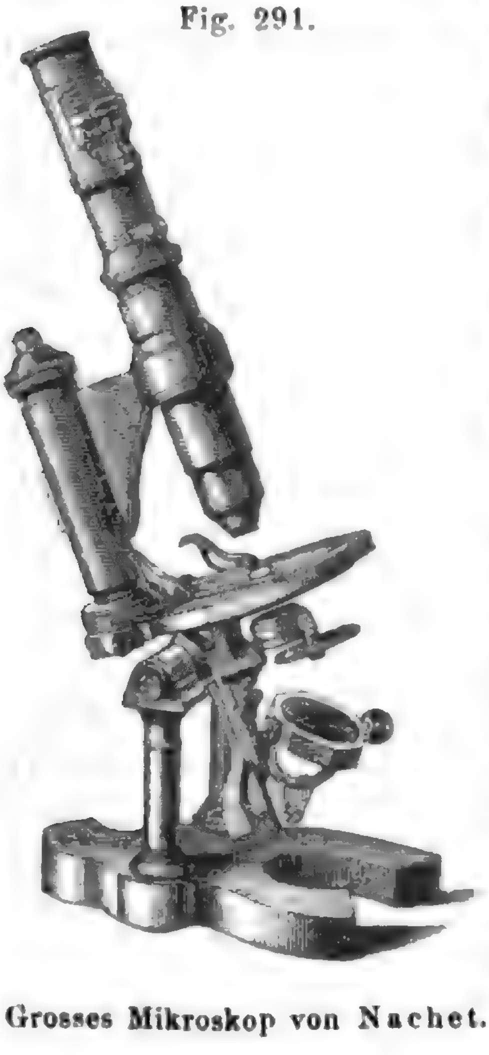
*) Es gilt hier das Nämliche, was schon vorhin (S. 709) von den Oberhäuser'schen Objectiven bemerkt wurde. Es kommen kleine Verschiedenheiten in den Brennweiten der gleichnamigen Systeme vor; sie betragen aber niemals mehr als Bruchtheile des Millimeters, was nur bei den stärkeren Systemen einen sehr bemerkbaren Einfluss übt.

Objectiv.	Brennweite.	Ohne Verbesserungs-einrichtung.	Mit Verbesserungs-einrichtung.
Nummer.	Millimeter.	Francs.	Francs.
0	27,2	15	—
1	12	20	—
2	6	20	—
3	4,8	20	50
4	3,2	25	60
5	2,5	30	75
6	2,0	40	95
7	1,6	60	125
8	1,[illegible]	80	180

Liefert er diese Objective zu einem Mikroskope, das er nicht selbst gefertigt hat, dann ist der Preis 20 bis 25 Proc. höher.

Nachet hat mehrere Arten von Mikroskopgestellen. Für seine grossen Mikroskope hatte er zuerst das Oberhäuser'sche mit dem trommelförmigen Fusse zum Muster genommen. Da sich aber bei dieser Einrichtung der Spiegel nur um eine horizontale Axe drehen kann, mithin nur centrische Beleuchtung möglich ist, so hat er diesem Mangel auf verständige Weise dadurch abgeholfen, dass er ein Prisma zwischen den Spiegel und das Object bringt, und so das Licht unter einem Winkel von 30° auffällt. Die nähere Beschreibung wird in dem Abschnitte von den Beleuchtungsapparaten kommen.

Fig. 291.



Grosses Mikroskop von Nachet.

Nachet macht gegenwärtig wohl auch noch solche Mikroskopgestelle; seine grössten und besten Mikroskope haben aber jetzt die Einrichtung, welche in Fig. 291 dargestellt ist, dass nämlich, wie bei den englischen Mikroskopen, der ganze optische Apparat an einer horizontalen Axe zwischen zwei Säulen hängt, und aus der verticalen bis zur horizontalen Stellung übergeführt werden kann. Hat dieses Mikroskop alle Objectivsysteme mit der Verbesserungseinrichtung, die drei Oculare, einen drehbaren Objecttisch, einen voll-

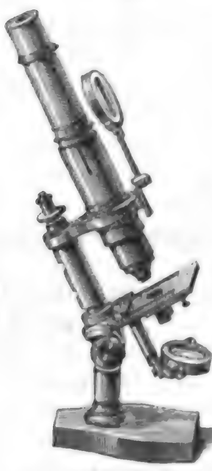
ständigen Beleuchtungsapparat, ein Ocularmikrometer, Goniometer, einen Polarisationsapparat, ein Compressorium, ein Beleuchtungsprisma, eine grosse Linse zur Beleuchtung bei auffallendem Lichte, dazu noch Scheeren, Pincetten, Messerchen, Nadeln u. s. w., so kostet es 1150 Francs. Enthält es dagegen nur sechs Objective (Nr. 0, 1, 2, 3, 5 und 7) ohne die Verbesserungseinrichtung, wobei zugleich einige Nebendinge weggelassen werden, die nicht zu allen Untersuchungen erfordert werden, dann beträgt der Preis nur 635 Francs.

Sehr empfehlenswerth sind seine kleineren Mikroskopgestelle (Fig. 292), die ebenfalls in verschiedene Richtungen sich bringen lassen. Ein solches Mikroskop kostet 190 Francs, wenn es drei Objective (Nr. 1, 3 und 5) und drei Oculare enthält, und natürlich darunter oder darüber, wenn man nur zwei oder aber mehr als drei Objective verlangt.

Noch einfachere, aber sonst ganz zweckmässig eingerichtete Mikroskope liefert Nachet um noch geringeren Preis. Ein Mikroskop z. B. mit zwei Objectiven (Nr. 1 u. 3) und zwei Ocularen, das zu den meisten Untersuchungen ganz gut ausreicht, kostet nur 110 Francs.

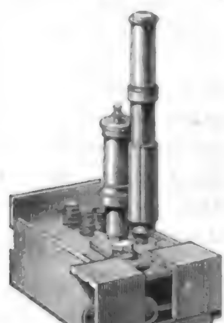
Endlich erwähne ich noch ein Taschenmikroskop, das besonders auf Reisen sehr brauchbar ist, da es in ein vergoldetes Messingkästchen von 9 Centimeter Länge und 5 Centimeter Breite eingepackt werden kann. Das kleine Instrument, in Fig. 293 dargestellt, ist ein niedliches Miniaturmikroskop, womit man gleichwohl die meisten Untersuchungen eben so gut ausführen kann, wie mit einem Instrumente von gewöhnlicher Grösse. Das Rohr hat nur 7 Centimeter Länge, wenn die innere Röhre eingeschoben ist, und 10 Centimeter bei ausgezogener Röhre; sein Durchmesser beträgt nur 14 Millimeter. Wird der Deckel, an dessen Innenfläche die Objective untergebracht werden, abgehoben, dann theilt sich der vordere Theil des Kästchens in zwei Hälften, wodurch zwei Oeffnungen frei werden, eine vordere für das Hohlspiegelchen von nur 14 Millimeter Durchmesser, das aber wegen seiner kurzen Brennweite eine ganz ausreichende Beleuchtung gewährt, und eine obere, wodurch das Licht zum Objecttische geleitet wird. Letzterer ist eigentlich nichts anderes als

Fig. 292.



Kleines Mikroskop von Nachet.

Fig. 293.



Nachet's Taschenmikroskop.

der vorderste Theil des Kästchens selbst. Zur feinen Einstellung dient eine Mikrometerschraube, die in gleicher Weise hinten am Stative angebracht ist, wie bei seinen grösseren Mikroskopen. Nachet giebt zu diesem Mikroskope ein Ocular und die drei Objective Nr. 1, 3 und 6. Ueber dem Objective befindet sich noch eine sehr schwache achromatische Linse, und das oberste Glas des Oculars ist ebenfalls eine achromatische Doppellinse. Diese Modificationen der optischen Einrichtung machten sich wegen der starken Verkürzung des Mikroskoprohrs nöthig. Ungeachtet des geringen Durchmessers der beiden Gläser des Oculars fällt doch der Durchmesser des Gesichtsfeldes nicht geringer aus, als man ihn gewöhnlich bei schwachen Ocularen grösserer Mikroskope zu haben pflegt. Für eine Sehweite von 25 Centimeter beträgt er 11 Centimeter. — Dieses Taschenmikroskop verkauft Nachet um 160 Francs.

Nachet verfertigt auch noch mancherlei andere Mikroskope, nämlich bildumkehrende, umgekehrte oder chemische, binoculäre und trioculäre, von denen allen an der geeigneten Stelle die Rede sein wird.

Die mechanische Einrichtung der Nachet'schen Mikroskope verdient alles Lob. Im optischen Vermögen werden sie von keinem der älteren Mikroskope des Continents übertroffen. Sehr viel Sorgfalt ist auf die Anfertigung der Objectivsysteme verwendet, so dass auch die zu den kleineren Mikroskopen gehörigen jenen für die grösseren Instrumente in Nichts nachstehen.

In der letzten Zeit ist Nachet mit Erfolg bemüht gewesen, den Oeffnungswinkel seiner Systeme zu vergrössern. Bei einem Systeme Nr. 7 mit einer Verbesserungseinrichtung fand ich bei stärkster Annäherung der untersten Linse die Brennweite = 1,47 Millim. und den Oeffnungswinkel = 148°. Eine nähere Prüfung ergab aber, dass nur 120° als wirklich nutzbare Oeffnung angesehen werden konnten. Deshalb hat auch Nachet späterhin den Oeffnungswinkel seiner stärksten Objective wiederum etwas kleiner gemacht: ein später empfangenes System Nr. 7 mit 1,49 Millim. Brennweite hat nur 133° Oeffnungswinkel.

Vor Kurzem erhielt ich von Nachet ein Objectivsystem Nr. 8, das ein wahres Meisterstück ist. Bei stärkster Annäherung der untersten Linse (wenn die dicksten Deckplättchen zur Anwendung kommen) beträgt seine Brennweite nur 1,07 Millim. und sein Oeffnungswinkel hat 140°; bei grösster Entfernung der untersten Linse (wenn das Object gar nicht bedeckt ist) steigt die Brennweite auf 1,37 Millim. und der Oeffnungswinkel fällt auf 102°. Bei der erstern Stellung vergrössert dieses System mit dem schwächsten Oculare 850 Mal. Mit vollkommener Klarheit bringt dieses Objectivsystem die beiderlei Strichelchen oder Tüpfelchen an *Pleurosigma angulatum* zur Ansicht, wenn das Präparat in Canadabalsam liegt, wo diese Strichelchen unendlich schwerer erkannt werden, als am trocken untergelegten Präparate; denn in diesem Falle kann man sie bereits mittelst eines weit schwächeren Systems erkennen. An den älteren Nobert'schen Probetäfelchen (s. S. 613 Anm.) wird die neunte

Gruppe ohne Mühe unterschieden, weit schwieriger dagegen und nur bei schief einfallendem Lichte treten damit die Strichelchen der zehnten Gruppe hervor. An einem neueren Nobert'schen Probetäfelchen mit dreissig Gruppen gelang es mir nur schwierig, indem ich alle mögliche Vorsicht anwendete, nämlich die Verbesserungseinrichtung und sehr schief einfallendes Licht benutzte, die 22. Gruppe aufzulösen.

Für die Fälle, wo ganz schief einfallendes Licht erfordert wird, hat Nachet bei seinen grösseren Mikroskopen noch einen besondern Hülfsobjecttisch, der unter dem eigentlichen Objecttische mit zwei Klammern befestigt wird, um das Objecttäfelchen fest zu halten. Das Mikroskoprohr wird dann durch die Oeffnung des Objecttisches hingeschoben, bis das Objectiv nahe genug über dem Objecte ist.

Nach mündlicher Mittheilung verkauft Nachet jährlich etwa 200 Mikroskope.

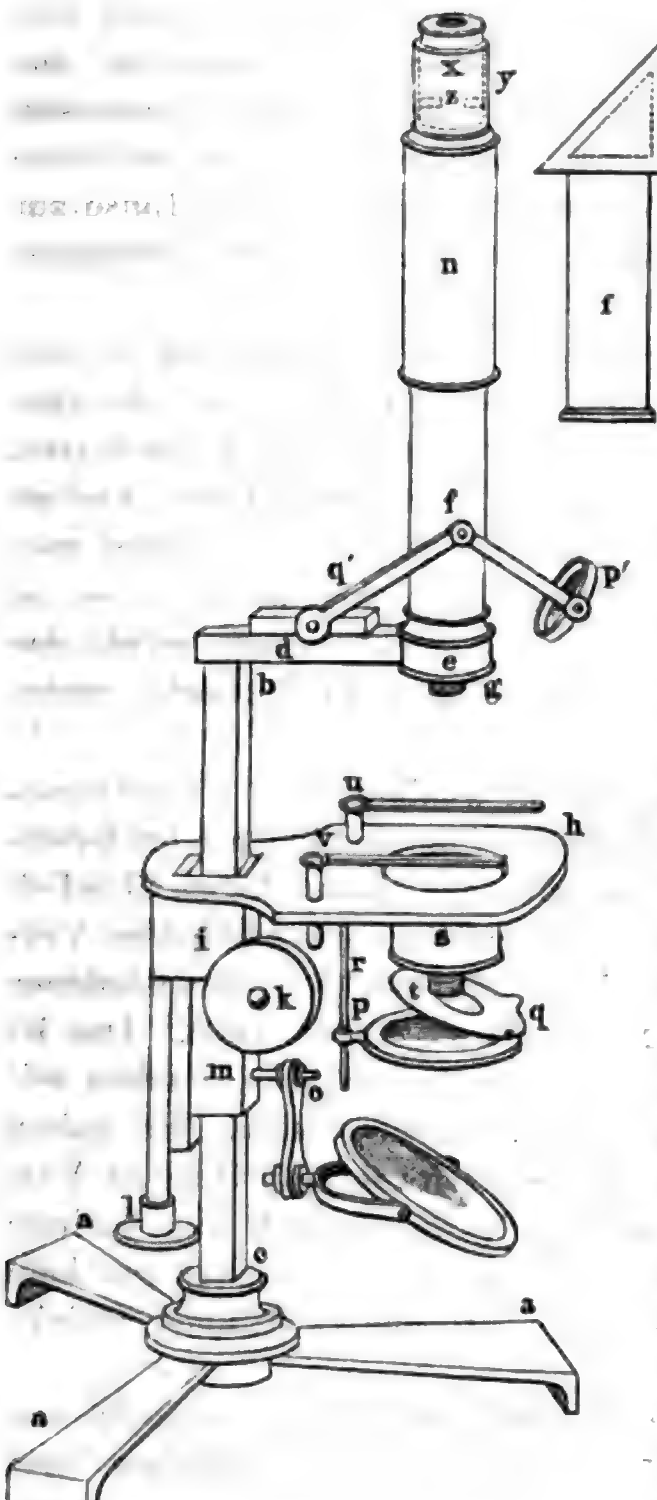
Ueber die übrigen französischen Mikroskope weiss ich nur wenig. Soleil verfertigte Taschenmikroskope für nicht mehr als 35 Francs, die nach Donné (*Comptes rendus* 1841. XII, p. 388) bis zu 300 mal vergrössern, und die, obwohl sie keinen Spiegel haben, für alle Untersuchungen eben so ausreichend sein sollen, wie andere gute Mikroskope. Das dürfte aber wohl eine Uebertreibung sein.

In Italien ist es besonders G. B. Amici, früher in Modena, jetzt Professor und Director des Observatoriums in Florenz, der seinen alten wohlverdienten Ruhm würdig behauptet. Von der optischen Wirkung eines seiner Instrumente vom Jahre 1835 habe ich schon oben (S. 297 u. flg.) ausführliche Nachricht gegeben. Ich will hier nur noch bemerken, dass in diesem Mikroskope, gleichwie in den früheren seit 1827 von Amici gelieferten, über dem Objective ein rechtwinkeliges gläsernes Prisma unbeweglich steht und das Mikroskoprohr deshalb eine horizontale Lage hat, dass ferner der Objecttisch durch zwei Schrauben bewegt wird, deren Knöpfe eine Eintheilung haben, um zugleich als Schraubenmikrometer zu dienen, dass der Objecttisch sich durch einen Trieb an dem Stative auf- und abbewegt, dass endlich durch sehr starke dazu gehörige Oculare die Vergrösserung bis zu 7000 Mal gesteigert werden kann, wenn gleich nach den obigen Mittheilungen die äusserste Grenze des optischen Vermögens bereits bei einer viel schwächern Vergrösserung erreicht wird. Dieses Mikroskop kostete mit dem Zubehör nicht weniger als 1500 Francs.

Später hat Amici das Gestell seiner Mikroskope nicht blos sehr vereinfacht, sondern auch verbessert, indem er das Prisma nicht mehr als ständigen Bestandtheil in das Rohr aufnahm, und indem er dem Triebe auch noch eine feine Schraube zur feinen Einstellung zufügte. In der Anfertigung achromatischer Linsensysteme hat er aber solche Fortschritte gemacht, dass eins seiner Instrumente, welches ich 1849 erhielt und zwar zu 500 Francs, unter allen von mir bis dahin untersuchten Mikroskopen

in optischer Beziehung sich als das vollkommenste bewährte. In der mechanischen Einrichtung steht es allerdings manchen anderen nach. In Fig 294 ist dieses Mikroskop abgebildet. Ein Dreifuss mit drei aus einander zu legenden Füssen *a a a* trägt eine vierseitige Stange *b c*, auf welche oben ein platter vierseitiger Arm *d* geschraubt ist, mit dem Ringe *e* am Ende. In diesen Ring passt ein zweiter, der durch eine Bajonetverbindung damit vereinigt werden kann, sich aber in dem ersten Ringe umdrehen lässt. Der obere weitere Theil dieses zweiten Ringes hat eine Mutterschraube zum Einschrauben des Mikroskoprohres *f*; der engere Theil nach unten aber geht in eine männliche Schraube aus, auf welche die Röhrchen mit den Objectivlinsen passen. Der fast viereckige Objecttisch *h* hat eine runde Oeffnung und zwei Klemmfedern *u* und *v*, die sich höher und niedriger stellen lassen; er ist mit der Hülse *m* verbunden, die an der Stange durch einen Trieb *k* auf- und niederbewegt werden kann. Zur feinen Einstellung dient eine Schraube mit einem Knopfe *l*, wodurch das mit der vierseitigen Hülse verbundene Stück *i* langsam gehoben und herabgezogen werden kann. Das Mikroskoprohr hat zwei Hälften *f* und *n*, die sich auf einander schrauben lassen, die man aber auch einzeln benutzen kann, wenn man die Höhe des Oculars über dem Tische verkürzen will. Diese Höhe beträgt bei voller Länge des Rohrs 37 Centimeter, dagegen nur 29 Centimeter, wenn es auf die Hälfte verkürzt ist. Auf Verlangen wird ein rechtwinkeliges in eine dreiseitige Röhre eingeschlossenes gläsernes Prismadazu gegeben, welches auf die bei *A* angegebene Weise zwischen die beiden Röhren *f* und *n* einge-

Fig. 294.





Mikroskop von Amici.

schraubt wird. Der Beleuchtungsapparat besteht aus einem ebenen Spiegel, dessen Bügel an einem Querarme oder an einer Kurbel *o* sitzt, zur excentrischen Beleuchtung; ferner aus einer mit der geraden Fläche aufwärts sehenden planconvexen Linse *p*, die an der runden Stange *r* höher und niedriger gestellt und auch ausserhalb der Axe gebracht werden kann, und auf der eine geschwärzte, in der Mitte mit einer Oeffnung versehene Scheibe *q* liegt, die sich an einem zur Seite befindlichen Stifte herumdreht und als Diaphragma dient. Unter den Objecttisch kann eine Trommel *s* geschraubt werden mit der Röhre *t*, die sich durch Schrauben höher und niedriger stellen lässt; sie wirkt somit als Diaphragma, indem sie das auf das Object treffende Lichtbündel breiter oder schmäler einwirken lässt. Man kann aber auch eine achromatische Linse auf diese Röhre schrauben, und wenn alsdann die eben erwähnte planconvexe Linse zur Seite gedreht wird, so hat man einen achromatischen Beleuchtungsapparat.

Man ersieht aus dieser Beschreibung, dass dieses Gestell so einfach eingerichtet ist, als es die Benutzung starker Objective, die eine feine Einstellung verlangen, nur irgend zulässt. Alles ist weggelassen, was mehr oder weniger als überflüssig erachtet werden kann, und zu den meisten Untersuchungen ist es auch ganz geeignet. Nur wird man in manchen Fällen einen grössern Objecttisch wünschenswerth finden, so wie eine grössere Festigkeit des ganzen Instruments; auch würde das drehbare Diaphragma besser gerade unter dem Objecttische angebracht sein.

Es gehören zu diesem Mikroskope nicht weniger denn 21 achromatische Doppellinsen, die zu 13 verschiedenen Combinationen oder Systemen zusammengestellt werden können. Manche davon haben ziemlich gleiche Brennweiten und geben also auch ziemlich die nämlichen Vergrösserungen; sie sollen aber mit Deckplättchen von verschiedener Dicke (von $1/_5$ bis $1 1/_2$ Millimeter) gebraucht werden (§. 160). Das ist eine gewichtige Verbesserung, deren Nothwendigkeit Amici schon seit 1829 begriffen hat und die er auch zu erreichen strebte. So geben z. B. vier von jenen Combinationen mit dem schwächsten Oculare Vergrösserungen von 664, 672, 644 und 650, was freilich nur geringe Unterschiede sind; aber es soll bei diesen vier Combinationen gar kein Deckgläschen, oder aber ein solches von $1/_5$, $1/_4$ und $1/_3$ Millimeter Dicke benutzt werden.

Die Brennweiten dieser verschiedenen Objectivsysteme wechseln von 36,68 Millim. bis zu 2,57 Millim. *). Zu den meisten gehören drei

*) Amici hatte übrigens schon damals stärkere Objectivsysteme verfertigt. Mohl (Mikrographie, S. 16), dessen Methode zur Bestimmung der Brennweite ich übrigens für nicht so genau erachte als die meinige, weil sie nicht so direct ist, giebt an, das stärkste Objectivsystem seines Amici'schen Mikroskops habe 0,86''', d. h. also 1,9 Millimeter Brennweite. In der Beschreibung dieses Mi-

Doppellinsen, zu einigen, bei denen Deckgläschen benutzt werden, aber auch vier, wo dann die oberste eine Correctivlinse mit ziemlich grosser Brennweite ist, weshalb sie die eigentliche Vergrösserung nur wenig modificirt.

Es gehören drei Oculare dazu, die auch eine besondere Einrichtung haben. Sie bestehen nämlich aus zwei in einander verschiebbaren Röhren *x* und *y*, deren jede eine planconvexe Linse enthält, und die innere Röhre hat ein Diaphragma *z*. Ist das innere Rohr eingeschoben, dann hat man ein Ramsden'sches Ocular; durchs Ausziehen kann man es aber in ein Huygens'sches verwandeln. Diese Einrichtung hat den Zweck, auch die letzten Spuren von Aberration möglichst zu beseitigen, worüber früher (§. 159) das Nöthige angegeben worden ist. Bei ganzer Rohrlänge beträgt die Vergrösserung dieser Ramsden'schen Oculare das 6,9fache, das 10,7fache und das 14,9fache des Objectivsystems allein. Ihr Gesichtsfeld für 25 Centimeter Sehweite ist 217, 210 und 240 Millimeter breit; das Gesichtsfeld ist somit merklich grösser, als ich es (mit Ausnahme des Kellner'schen) bei irgend einem der von mir untersuchten Mikroskope kennen gelernt habe, hat aber die nachtheilige Eigenschaft einer sehr starken Biegung, da die Vergrösserung in der Mitte des Feldes zu jener am Rande bei Nr. 1 = 1 : 1,075, bei Nr. 2 = 1 : 1,136, bei Nr. 3 = 1 : 1,187 sich verhält. Macht man die Entfernung zwischen den beiden Augengläsern grösser, so lässt sich zwar ein ganz ebenes Gesichtsfeld herstellen, aber natürlich auf Kosten der Vergrösserung und der Ausbreitung des Gesichtsfeldes.

Es würde etwas ganz Ueberflüssiges sein, wollte ich hier einen vollständigen Bericht davon geben, welche Resultate bei der Untersuchung des optischen Vermögens aller Combinationen erhalten wurden; ich beschränke mich daher auf die folgenden:

Objectiv-system.	Brenn-weite.	Oeffnungs-winkel.	Ocular.	Vergrösse-rung.	Nobert's Probetäfelchen.
Nr. 1 b.	26,15mm	26°	Nr. 1	96	Zweite Gruppe deutlich.
2	7,45	67°	1	217	Siebente „ „
4	8,69	73°	2	310	Achte „ „
6	4,00	70°	1	423	Desgleichen.
11	2,67	94°*)	1	650	Neunte Gruppe deutlich.

kroskops in den Annalen der Chemie und Physik 1844. XII, S. 117 liest man, das stärkste System habe eine Brennweite von $\frac{1}{2}$ Millimeter. Damit ist ohne Zweifel die Entfernung der untersten Linse des Systems von dem Objecte gemeint und nicht die Brennweite der äquivalenten Linse.

*) Schon damals hatte übrigens Amici Linsensysteme mit grösserem Oeffnungswinkel gefertigt. Bei seinem Aufenthalte in England im Jahre 1844 zeigte er

Die neunte Gruppe ist bei passender Beleuchtung so deutlich, dass man jeden Strich ganz scharf gesondert sieht, ja selbst in der zehnten Gruppe lassen sich noch einzelne Striche unterscheiden *).

Die Grössen der kleinsten dioptrischen Bildchen, die man mit den nämlichen Linsensystemen bekommt, erhellen aus der folgenden Tabelle:

Linsen-system.	Ocular.	Vergrösse-rung.	Kugelförmige Objecte.	Fadenförmige Objecte.	Drahtnetz: Drähte.	Drahtnetz: Maschen-räume.
Nr. 1	Nr. 1	96	0,662 mmm = $\frac{1}{1510}$ mm	0,0771 mmm = $\frac{1}{12900}$ mm	0,500 mmm = $\frac{1}{2000}$ mm	0,821 mmm = $\frac{1}{1210}$ mm
	2	149	0,564 mmm = $\frac{1}{1770}$ mm	0,0600 mmm = $\frac{1}{16600}$ mm	0,370 mmm = $\frac{1}{2700}$ mm	0,607 mmm = $\frac{1}{1640}$ mm
	3	197	0,533 mmm = $\frac{1}{1880}$ mm	0,0579 mmm = $\frac{1}{17400}$ mm	0,394 mmm = $\frac{1}{2500}$ mm	0,646 mmm = $\frac{1}{1550}$ mm
Nr. 2	1	217	0,438 mmm = $\frac{1}{2290}$ mm	0,0486 mmm = $\frac{1}{20680}$ mm	0,239 mmm = $\frac{1}{4190}$ mm	0,392 mmm = $\frac{1}{2560}$ mm
	2	336	0,408 mmm = $\frac{1}{2560}$ mm	0,0490 mmm = $\frac{1}{20400}$ mm	0,240 mmm = $\frac{1}{4170}$ mm	0,394 mmm = $\frac{1}{2530}$ mm
	3	468	0,395 mmm = $\frac{1}{2660}$ mm	0,0460 mmm = $\frac{1}{21800}$ mm	0,240 mmm = $\frac{1}{4170}$ mm	0,394 mmm = $\frac{1}{2530}$ mm
Nr. 6	1	423	0,235 mmm = $\frac{1}{4260}$ mm	0,0299 mmm = $\frac{1}{33400}$ mm	0,211 mmm = $\frac{1}{4740}$ mm	0,345 mmm = $\frac{1}{2900}$ mm
	2	656	0,251 mmm = $\frac{1}{3990}$ mm	0,0333 mmm = $\frac{1}{30000}$ mm	0,227 mmm = $\frac{1}{4400}$ mm	0,372 mmm = $\frac{1}{2660}$ mm
	3	912	0,254 mmm = $\frac{1}{3940}$ mm	0,0333 mmm = $\frac{1}{30000}$ mm	0,225 mmm = $\frac{1}{4440}$ mm	0,370 mmm = $\frac{1}{2700}$ mm
Nr. 11	1	650	0,209 mmm = $\frac{1}{4790}$ mm	0,0242 mmm = $\frac{1}{41300}$ mm	0,163 mmm = $\frac{1}{6140}$ mm	0,267 mmm = $\frac{1}{3750}$ mm
	2	1008	0,215 mmm = $\frac{1}{4650}$ mm	0,0246 mmm = $\frac{1}{40700}$ mm	0,167 mmm = $\frac{1}{6000}$ mm	0,274 mmm = $\frac{1}{3650}$ mm
	3	1402	0,225 mmm = $\frac{1}{4440}$ mm	0,0249 mmm = $\frac{1}{40200}$ mm	0,183 mmm = $\frac{1}{5460}$ mm	0,302 mmm = $\frac{1}{3310}$ mm

dort ein Objectivsystem vor, dessen planconvexe Linse aus borkieselsaurem Blei bestand, das eine Brennweite von 3,6 Millimeter und einen Oeffnungswinkel von 112° hatte (Quckett l. l. p. 430). Wir werden später sehen, dass er weiterhin Linsensysteme mit noch weit grösserem Oeffnungswinkel hergestellt hat.

*) Mohl (Mikrographie, S. 027) giebt an, er habe durch sein Amici'sches Mikro-

Man ersieht sogleich aus dieser Tabelle, dass das optische Vermögen der beiden stärksten Systeme schon mit dem ersten Oculare die höchste Stufe erreicht hat, während es bei den schwächeren Systemen durch die Oculare noch erhöht wird.

Belehrend ist die Vergleichung dieser Resultate mit jenen, wie sie andere, etwa gleichzeitig verfertigte Mikroskope geliefert haben, namentlich das Oberhäuser'sche (S. 707). Man überzeugt sich aus den beiderlei Tabellen, dass beide Instrumente im Allgemeinen ungefähr gleiches optisches Vermögen besitzen, dass aber mit dem Oberhäuser'schen Mikroskope noch etwas kleinere kugelförmige und fadenförmige Objecte gesehen werden können, als mit dem Amici'schen, während dagegen das letztere den Vorzug verdient, wenn es darauf ankommt, Objecte von einander zu unterscheiden, die nur wenig von einander entfernt sind.

Um aber die Leistung der beiden Optiker zu beurtheilen, muss eigentlich noch ein ganz anderer Maassstab angelegt werden. Es genügt nämlich nicht, die gleichen Vergrösserungen unter einander zu vergleichen, sondern es müssen auch diese Vergrösserungen, sollen sie zur Vergleichung sich eignen, das Product der nämlichen Factoren sein, d. h. die Brennweite des Linsensystems und die Vergrösserung des Oculars müssen einander etwa gleich sein.

Das neunte Objectivsystem Oberhäuser's mit der Brennweite von 1,7 Millim. ist daher nicht zu vergleichen mit dem stärksten Amici'schen Objectivsysteme, welches 2,67 Millim. Brennweite hat; vielmehr muss das letztere mit dem achten Oberhäuser'schen Systeme von 2,5 Millim. Brennweite verglichen werden, dem es also ziemlich gleichkommt. Das Gleiche gilt aber auch von den Ocularen: das schwächste Amici'sche kommt ungefähr gleich dem vierten des Oberhäuser'schen Mikroskops.

Stellt man nun mit solcher Rücksichtsnahme die durch beide Mikroskope erlangten Resultate einander gegenüber, so tritt die vorzüglichere Güte der Amici'schen Linsensysteme ganz deutlich hervor, namentlich in Betreff des unterscheidbar machenden Vermögens; denn hierin verhält sich Nr. 11 von Amici zu Nr. 8 von Oberhäuser etwa wie 3 : 2. Bei schwächeren Vergrösserungen tritt dies vielleicht noch bestimmter hervor, da mit einem Amici'schen Objective von 8,7 Millim. Brennweite die Striche der achten Gruppe des Nobert'schen Probetäfelchens bereits ganz deutlich erkannt werden, wozu schon ein Oberhäuser'sches Objectiv von 2,5 Millim. Brennweite erforderlich ist. Das erwähnte

skop die neunte Gruppe deutlich, und die zehnte noch gestrichelt gesehen. Später sah er an einem andern ihm von Nobert geschickten Probetäfelchen auch die zehnte Gruppe deutlich (Schuhmacher's Astronom. Nachr. 1849. Ergänzungsheft S. 94). Dies beweist aber nur, dass das zweite Probetäfelchen vom ersten verschieden war. Mir selbst ist es später begegnet, dass ich mit dem nämlichen Mikroskope bei sehr schief einfallendem Lichte auf einem Nobert'schen Probetäfelchen mit zwanzig Gruppen die siebenzehnte noch deutlich sehen konnte.

Amici'sche Objectiv besitzt aber auch den für diese Brennweite sehr ansehnlichen Oeffnungswinkel von 73°.

Der Grund dieses stärkeren Vermögens der Unterscheidbarmachung bei den Amici'schen Objectiven liegt offenbar allein in der auffallend grössern Oeffnung, die er schon damals seinen Linsensystemen gab. Weiterhin hat aber Amici seine Objectivsysteme noch mehr verbessert, wie man aus seinem Berichte ersieht, den er einem für Achille Brachet in Paris bestimmten Mikroskope beigab, welchen der letztere in einem übrigens ganz sonderbar verfassten Schriftchen (*Simples préliminaires sur le commentaire de la notice du meilleur microscope dioptrique composé achromatique du professeur Amici*. Par. 1856) hat abdrucken lassen. Nach diesem Berichte hat:

	Brennweite.	Oeffnungswinkel.
Nr. 1	22,82mm	26°
2	8,47	37
3	4,27	70
4	3,92	57
5	3,50	77
6	1,74	160

Man ersieht hieraus, dass es Amici späterhin gelungen ist, seinen stärksten Systemen auch einen viel grössern Oeffnungswinkel zu verschaffen. Dabei bleibt die Fläche des stärksten Objectivs doch noch 0,4 Millim. vom Objecte entfernt, eine ungewöhnlich grosse Entfernung für ein System von nur 1,74 Millim. Brennweite und von 160° Oeffnung.

Es sind ferner für dieses Objectiv sechs verschiedene Glassorten verwendet, deren jede ein anderes Brechungs- und Dispersionsvermögen besitzt. Dadurch ist es möglich geworden, die verschiedenen Strahlen des Spectrums in weit vollkommnerer Weise zu vereinigen, als wenn nur zwei Glassorten genommen werden, wo dann stets das sogenannte secundäre Spectrum übrig bleibt. Nach Amici selbst lassen sich dadurch noch Strichelchen unterscheiden, die $^1/_{6000}$ Linie ($^1/_{2664}$ Millim. = zwanzigste Gruppe des Nobert'schen Probeplättchens) von einander abstehen.

Dieses Objectivsystem und noch ein anderes hat Amici ausdrücklich dazu eingerichtet, dass die Vorderfläche der untersten Linse in Wasser getaucht werden kann, wie bereits bei einem Mikroskope, welches mein College Donders im Jahre 1850 von ihm erhielt. Zu dem Ende wird auf die Vorderfläche der untersten Linse sowohl als auf das Deckplättchen über dem Objective mittelst eines Pinsels ein Tropfen Wasser gebracht, so dass beide Tropfen sich vereinigen, sobald das Objectiv in die gehörige Entfernung vom Objecte gekommen ist und somit eine dünne Wasserschicht zwischen der Linse und dem Deckgläschen liegt. Die Brennweite wird dadurch verkürzt und die Vergrösserung nimmt zu; dies verlangt aber wieder, dass die das Objectivsystem zusammensetzen-

den Linsen einander stärker genähert werden, weil sonst die Entfernung der vordersten Linse vom Objecte zu klein ausfallen würde.

Der eigentliche Vortheil dieses Verfahrens ist aber nicht darin zu suchen, dass die vergrössernde Kraft zunimmt, sondern vielmehr darin, dass bei Benutzung des Wassers die Reflexion des Lichts auf die dem Objecte zugewendete Oberfläche der vorderen Linse des Objectivsystems fast ganz abgeschnitten wird. Diese Reflexion übt einen um so nachtheiligern Einfluss aus, als die Oeffnung des Linsensystems grösser wird; denn sie ist am bedeutendsten bei jenen Strahlen, welche in schiefster Richtung auf das Objectiv treffen, also bei den Randstrahlen. Eine Verminderung der Reflexion dadurch, dass zwischen das Object und das Objectiv ein Medium kommt, dessen Brechungsvermögen von jenem des Glases weniger differirt als jenes der Luft, hat daher ungefähr die gleiche Folge, als wenn man den Oeffnungswinkel vergrösserte. An dem Bilde, welches alsdann vor dem Oculare entsteht, nehmen die Randstrahlen grösseren Antheil und demgemäss steigert sich das Unterscheidungsvermögen des Mikroskops.

Es unterliegt somit keinem Zweifel, dass dieses Verfahren in den Händen eines geübten Beobachters sich noch nützlich bewähren kann, wenn es darauf ankommt, bis zu den äussersten Grenzen des noch durchs Mikroskop Wahrnehmbaren zu gelangen. Auch leiden die Linsen nicht, wenn man Sorge trägt, sie immer wieder gehörig abzutrocknen. Indessen muss zugegeben werden, dass die Fälle verhältnissmässig selten vorkommen, wo dieses Verfahren wirklichen Nutzen bringt. Bei den gewöhnlichen Untersuchungen, wozu man ein Mikroskop braucht, kann man desselben ohne Nachtheil entbehren *).

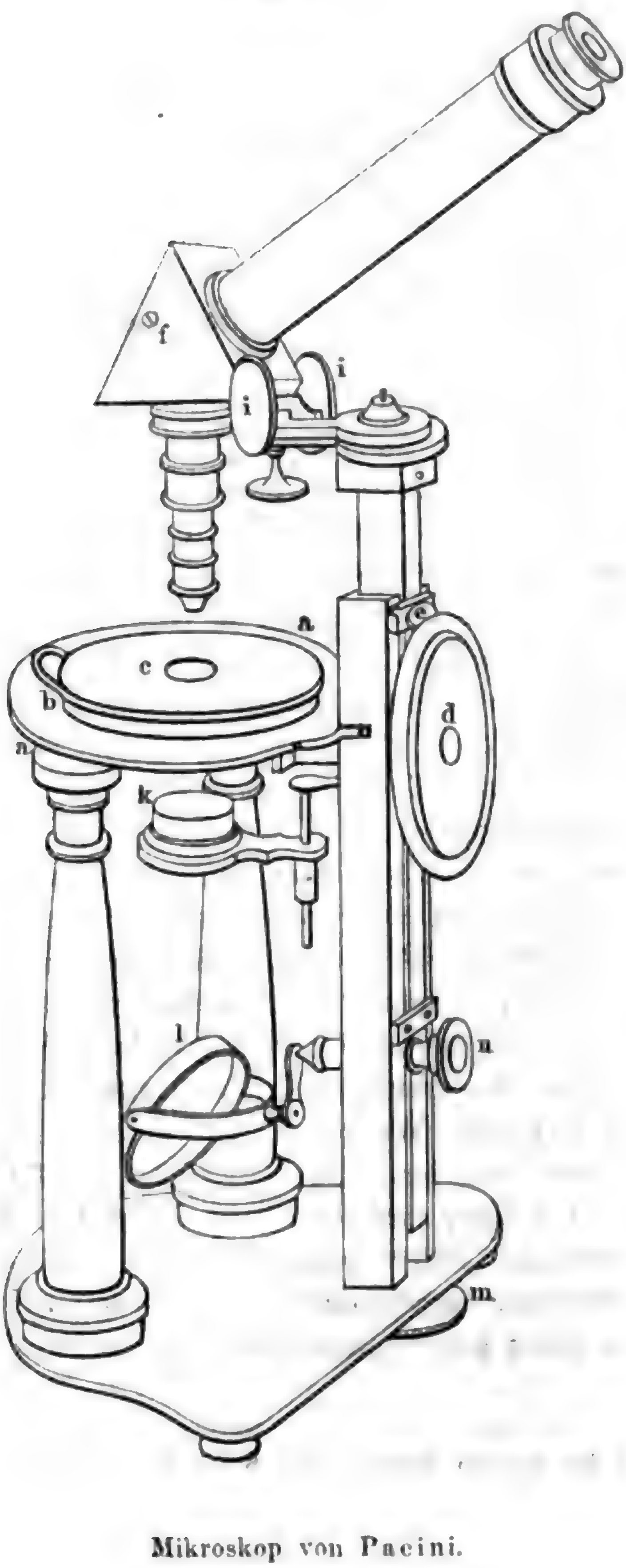
Amici's Mikroskop ist noch durch eine Besonderheit ausgezeichnet, die ich nicht mit Stillschweigen übergehen darf. Wie gesagt, steckt das Mikroskoprohr in einem Ringe; es lässt sich um seine Axe und somit auch um die Axe aller Objective und Oculare drehen, und diese Einrichtung hat zuverlässig ihren Nutzen. Bei schwer erkennbaren gestrichelten Probeobjecten, ebenso beim Betrachten der Striche am Nobert'schen Probetäfelchen kann man sich davon überzeugen, dass das Bild bei manchen Stellungen des Rohrs weniger scharf hervortritt, als nachdem man letzteres um einen gewissen Winkel umgedreht hat. Eine Erklärung davon ist aber schwer zu geben. Amici selbst sucht sie in der Aberration des Auges, die bei einer bestimmten Stellung des Rohrs eine entgegengesetzte Aberration des Mikroskops aufheben soll. Diese Erklärung kommt mir aber weniger annehmbar vor, als wenn Mohl (Mikrographie S. 177) an eine nicht ganz genaue Centrirung der Linsen

*) Nachet hat dieses Verfahren bei seinem Systeme Nr. 8 (S. 717) auch in Anwendung gebracht. Es ist zur Beobachtung in Luft bestimmt, kann aber auch auf diese Art mit Wasser befeuchtet werden. Ich fand, dass die Vergrösserung dann etwa um $^1/_6$ zunimmt.

denkt und den Nutzen der Umdrehung darin sucht, dass dadurch jener Theil des Objectivs, worin die Aberration am schwächsten ist, rechtwinkelig zu den zu beobachtenden Strichelchen zu stehen kommt.

Vor mehreren Jahren hat Professor F. Pacini in Pisa ein Mikroskopgestell beschrieben (*Nuovi Annali delle Sc. naturali di Bologna.* Nov. 1845), welches nicht nur zierlich geformt, sondern auch bequem zu gebrauchen ist (Fig. 295). Auf zwei runden Säulen ruht unbeweglich der Objecttisch *aa*. Auf demselben befindet sich die bewegliche runde Platte *c* mit einer Oeffnung in der Mitte, welche einer grösseren Oeffnung in dem Objecttische selbst entspricht. Der Rand dieser Platte ist, gemäss seiner Bestimmung als Goniometer, in 360 Grade eingetheilt und sie dreht sich auf der Scheibe *b* um ihre Axe; letztere aber kann abwechselnd vor- und rückwärts bewegt werden durch eine Mikrometerschraube, deren breiter Knopf sich in *d* befindet. Dieser Knopf ist in 100 Theile getheilt, und durch einen Nonius *e* liest man die Zehntel ab.

Fig. 295.



Mikroskop von Pacini.

Das Mikroskoprohr ist an die dreiseitige Röhre *f* geschraubt, in der sich ein gleichseitiges dreieckiges Prisma befindet, so dass die Strahlen, wenn sie durch das Objectiv gegangen sind, unter einem Winkel von 30⁰ reflectirt werden. Man kann aber dieses Prisma auch weg-

nehmen und das Mikroskop vertical stellen. Der Arm, worauf dieser Theil ruht, hat eine Schraube, deren Knöpfe man bei *ii* sieht: dadurch kann das ganze Mikroskoprohr nebst Prisma und Objectiv in querer Richtung bewegt werden, also rechtwinkelig zur Bewegung der Objectplatte *c*, welche durch die Schraube *d* von hinten nach vorn bewegt wird.

Der Arm mit dem optischen Apparate ruht auf einer Stange, welche durchs Umdrehen des Knopfs *n* schnell auf- und niederbewegt wird. Der langsamen Bewegung und feinen Einstellung dagegen dient eine Schraube, deren Knopf bei *m* sichtbar ist.

Der Beleuchtungsapparat besteht aus einem Spiegel *l*, der sich in einem an einer Kurbel befestigten Bügel dreht; ferner aus einer Beleuchtungslinse *k* mit einem darüber sich drehenden Diaphragma.

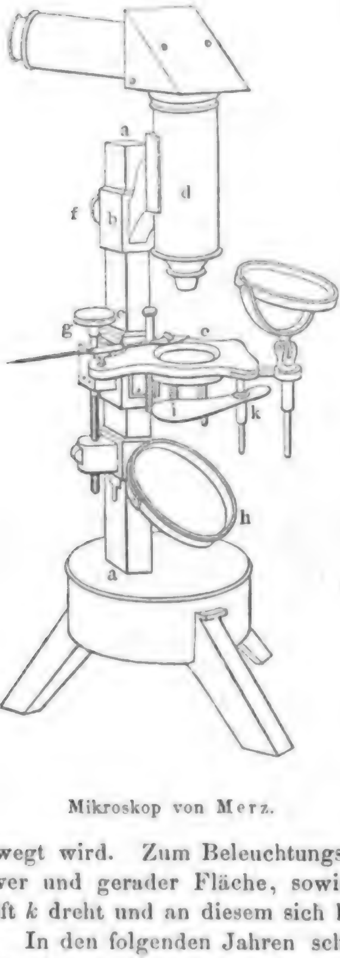
Dieses Gestell gehört zuverlässig zu den besten der Neuzeit: es besitzt alle guten Eigenschaften des neuern Modells der Oberhäuser'schen Mikroskope, nämlich Festigkeit, einen grossen Objecttisch, Platz für den Beleuchtungsapparat u. s. w., ohne die plumpe Form, wodurch das letztere entstellt wird. Man sieht aber leicht ein, dass noch mehrere Veränderungen und Vereinfachungen daran anzubringen sein würden, wodurch die ganze Einrichtung einfacher und wohlfeiler werden müsste, ohne dass der Brauchbarkeit dadurch Abbruch geschähe.

Nachdem Frankreich und Italien darin vorausgegangen waren, durch 437
Vereinigung mehrerer achromatischer Doppellinsen aplanatische Mikroskope herzustellen, folgte man diesem Beispiele alsbald in Deutschland nach und, wie zu erwarten, zuerst im optischen Institute in München, dessen Gründer, der ausgezeichnete Frauenhofer, schon früher, wie wir gesehen haben, achromatische Mikroskope fertigte. Sein Nachfolger, Georg Merz, brachte 1829 ein Mikroskop zu Stande (Döllinger, Nachricht von einem verbesserten aplanatischen Mikroskope. München 1829), welches ohne Zweifel viel besser war als die früheren Münchener Instrumente, und bei dem auch die verschiedenen Linsen zu einem zusammengesetzten Objective vereinigt werden konnten. Hierzu benutzte er zuvörderst die vier achromatischen Linsen, die bis dahin zum Frauenhofer'schen Mikroskope gehörten, und deren stärkste eine Brennweite von 16 Millimeter hatte; er fügte jedoch noch eine fünfte hinzu mit 12 Millimeter Brennweite. Es scheinen aber noch lauter biconvexe Linsen gewesen zu sein, und sie standen somit gegen die in Paris und in Modena verfertigten zurück. Ihre Helligkeit und Schärfe wurde übrigens damals von competenten Beurtheilern, wie Brown (*Philos. Transact.* 1830, p. 118) und in Schuhmacher's Astron. Nachrichten IX, S. 110 sehr gerühmt. Es gehörten vier Oculare zu diesem Mikroskope. Seine Vergrösserung ging von 12 bis 1000.

Während aber dieses Mikroskop (Fig. 296 a. f. S.) in der einen optischen Beziehung, nämlich wegen der biconvexen Linsen, wahrscheinlich jenen nachstand, die aus den Werkstätten von Chevalier und Amici

kamen, fand sich an demselben eine andere wesentliche Verbesserung, die späterhin bei vielen Mikroskopen beibehalten wurde. Merz erkannte nämlich, dass durch das reflectirende gläserne Prisma, welches Amici in sein horizontales Mikroskop brachte, immer etwas Licht verloren geht, und deshalb gab er seinem Mikroskoprohre die Einrichtung, dass das Prisma zwar eingeschoben war, aber nach Willkür auch wieder weggenommen werden konnte, wo dann das ganze Rohr vertical stand. So wurden die Vortheile des Prisma gewahrt, seine Nachtheile aber beseitigt. Uebrigens war die mechanische Einrichtung dieses Mikroskops eben so einfach als zweckmässig. Eine vierseitige Stange *aa* ruht auf einem festen Dreifusse. Diese Stange ist aus Stahl, alles Uebrige dagegen aus Messing. Zwei vierseitige Hülsen *b* und *c* schieben sich an dieser Stange auf und nieder: *b* trägt das Mikroskoprohr *d*, *c* hingegen den Objecttisch *e*, und so können diese beiden möglichst in die nöthige Entfernung von einander gebracht werden. Die obere Hülse wird durch die Klemmschraube *f* festgestellt. Zur genauen Einstellung dient die feine Schraube *g*, wodurch der Objecttisch allmälig auf- und abwärts bewegt wird. Zum Beleuchtungsapparate gehört ein Spiegel *h* mit concaver und gerader Fläche, sowie ein Diaphragma *i*, das sich um den Stift *k* dreht und an diesem sich höher und niedriger stellen lässt.

Fig. 296.



Mikroskop von Merz.

In den folgenden Jahren scheint das optische Institut nur wenige Mikroskope geliefert zu haben; wenigstens geschieht ihrer Benutzung nur selten Erwähnung. Dies mag wohl dem Umstande zuzuschreiben sein, dass viele und grosse Teleskope daselbst verfertigt wurden, wodurch das Mikroskop mehr in den Hintergrund kam. Im Jahre 1843 bestellte aber der Herzog von Leuchtenberg bei den damaligen Inhabern des Instituts Merz und Mahler ein möglichst vollkommenes Mikroskop, welches von Merz und dessen Sohne Sigismund gefertigt und von einem andern Sohne Ludwig Merz (Die neueren Verbesserungen am Mikroskope u. s. w. München 1844) beschrieben wurde. Aus dieser Beschreibung,

die durch keine Abbildung erläutert wird, ersieht man, dass die mechanische Einrichtung des frühern Mikroskops grossentheils beibehalten wurde. Nur in den Bewegungen sind ein paar Verbesserungen vorgenommen worden: der Objecttisch kann durch einen Trieb höher und niedriger gestellt werden, und zur feinen Einstellung dient Mahler's Kugelschraube, womit das Mikroskoprohr in der Hülse in die Stange greift.

Der optische Theil besteht aus sechs achromatischen Linsen, die unter einander zu fünf Systemen verbunden werden können. In dem Rohre befindet sich eine achromatische concave Linse, wodurch die Vergrösserung verstärkt wird. Es gehören dann fünf verschiedene Oculare dazu, so dass die Vergrösserung von 12 bis zu 2400 steigt.

Die Beleuchtung wird nicht durch einen Spiegel bewirkt, sondern durch ein Glasprisma, das unter verschiedenen Winkeln aufgestellt werden kann. Unter dem Objecttische befindet sich eine Röhre, worin eine zweite durch einen Trieb auf- und niedergeschoben werden kann, und in dieser sind zwei convexe Linsen enthalten in einer Entfernung von einander, welche doppelt so gross ist als die Brennweite der kleinern Linse.

Sodann gehören noch verschiedene Apparate dazu, unter andern ein kleines rechtwinkeliges Prisma, dessen Kathetenfläche 16 Quadratlinien enthält und das an das Objectiv angeschraubt wird, wenn man chemische Einwirkungen von der Seite beobachten will, ein Schraubenmikrometer, welches bis $^1/_{100000}$ Par. Zoll angiebt u. s. w.

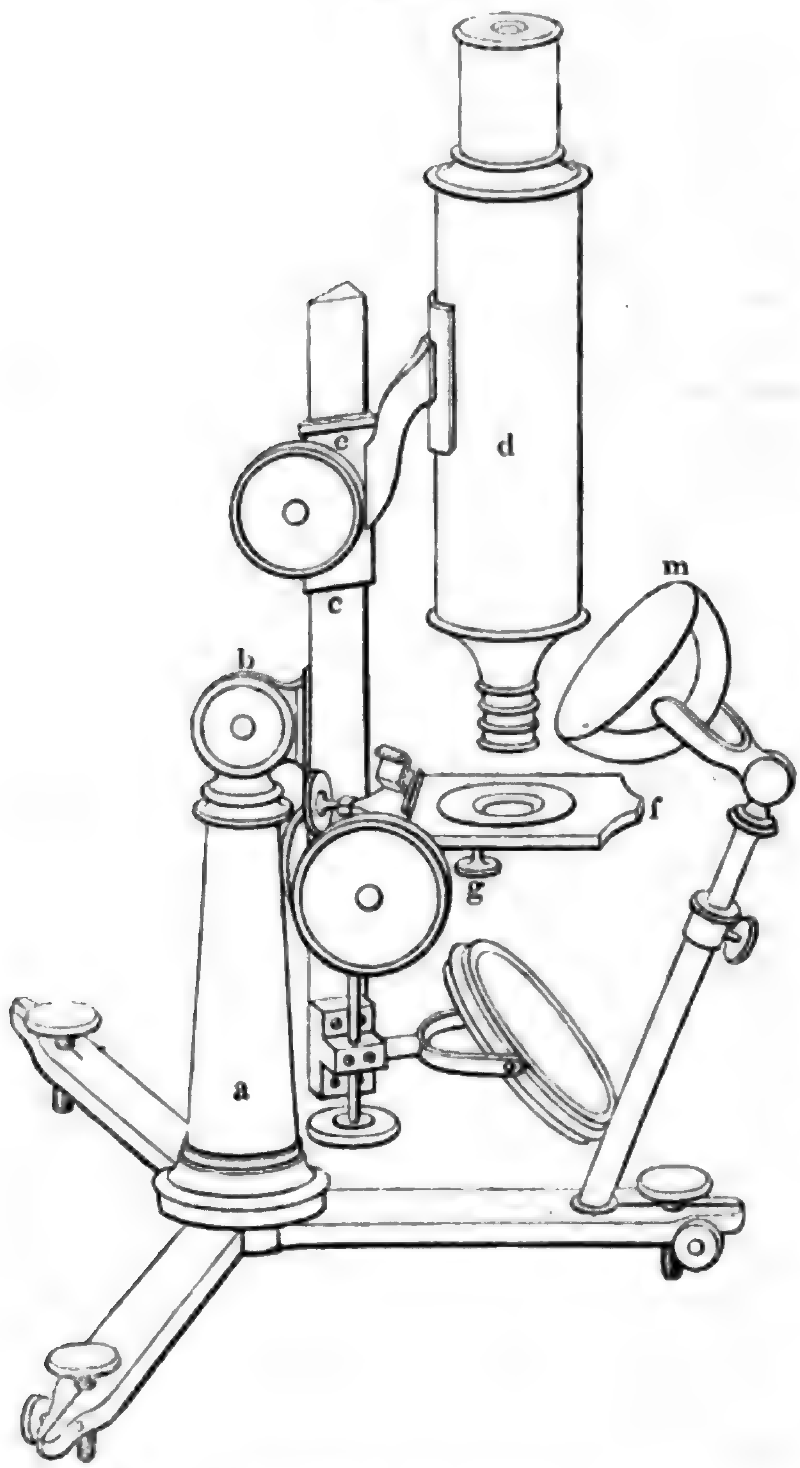
Aus dieser kurzen Beschreibung ist ersichtlich, dass sich dieses Mikroskop von anderen jetzt gebräuchlichen in manchen Punkten unterscheidet, z. B. in der Art und Weise der feinen Einstellung, im Beleuchtungsapparate u. s. w. Ob diese Veränderungen aber auch Verbesserungen sind, und ob namentlich das kostbare Glasprisma Besseres leistet als der gewöhnliche Spiegel, das lässt sich blos beim Gebrauche eines solchen Instruments feststellen.

Nach dem Preiscourant des optischen Instituts (Merz u. Sohn) vom Jahre 1846 kostet dieses Mikroskop mit allem Zubehör 720 rheinische Gulden. Ein solches Mikroskop mit nur fünf Objectivlinsen und drei Ocularen, bis zu 1100 Mal vergrössernd, mit einem Spiegel statt des Prisma, kostet 300 Gulden: ein anderes mit vier Objectivlinsen und zwei Ocularen, bis zu 240 Mal vergrössernd, 136 Gulden; ein solches mit drei Objectivlinsen und Einem Oculare, bis zu 115 Mal vergrössernd, 66 Gulden.

Nur Einmal, und zwar erst vor Kurzem, habe ich Gelegenheit gehabt, ein kleines Mikroskop aus dieser Werkstatt zu untersuchen. Ich fand es sehr mittelmässig, und weder die sphärische noch die chromatische Aberration schienen mir in dem Maasse verbessert zu sein, wie wir es jetzt bei den guten Instrumenten anzutreffen pflegen.

Der zweite, der sich in Deutschland, und zwar mit dem glücklichsten Erfolge, auf die Verfertigung achromatischer Mikroskope legte, ist Simon Plössl in Wien (Alte Wieden, Feldgasse, am Eck der Schmölerlgasse Nr. 215), dessen Instrumente seit 1830 eine allgemeine Verbreitung gefunden haben. Das Gestell von einem seiner Mikroskope ist Fig. 297 dargestellt. Auf einem Dreifusse, der durch Stellschrauben horizontal gestellt werden kann, ruht die Säule *a*, mit welcher oben durch das Charnier *b* die dreiseitige stählerne Stange *c* verbunden ist. (Bei einigen seiner Mikroskope hat Plössl auch die Säule mit dem Charniere weggelassen, es ruht die dreiseitige Stange unmittelbar auf dem Fussgestelle, und auf einem der drei Füsse steht der Spiegel.) Das Mikroskop kann daher vertical stehen oder auch unter einem bestimmten Winkel geneigt werden. Das Mikroskoprohr *d* ist an der dreiseitigen Hülse *e* aufgehängt, die sich durch einen Trieb an der Stange *c* auf- und niederbewegt. Der Objecttisch *f* kann durch die feine Schraube *g* höher oder niedriger gestellt werden, und 2 diagonal stehende Schrauben an demselben bewegen die Objecte im Gesichtsfelde. Auf denselben passt auch ein Schraubenmikrometer mit einem Nonius, der noch $^1/_{100000}$ Wiener Zoll angiebt. Der Beleuchtungsapparat für durchfallendes Licht besteht aus einem Hohlspiegel, der auf der Hinterseite geschwärzt ist, mit einer Linse zur Verstärkung des Lichts, und aus einem Selligue'schen convexen Prisma *m* für auffallendes Licht.

Fig. 297.



Mikroskop von Plössl.

Die Plössl'schen Mikroskope zeichnen sich durch eine sorgsame und genaue Arbeit aus. Die ganze Einrichtung des Gestells indessen ist namentlich wegen der ansehnlichen Höhe nicht so zweckmässig, wie bei manchen anderen, da man nur stehend damit arbeiten kann. Ich muss jedoch bemerken, dass Plössl das Mikroskoprohr auch aus zwei Hälften bildet, um nach Willkür ein Glasprisma dazwischen einzusetzen, ganz so, wie es Merz und späterhin auch Amici und andere gethan haben, und dann kann man damit auch im Sitzen arbeiten.

Zu diesem Mikroskope gehörten früherhin nur sieben achromatische Doppellinsen, deren Röhrchen sich aufeinander schrauben lassen, so dass man vier bis fünf verschiedene Systeme bekommt. Nach Mohl (Mikrographie S. 16) hatten die drei stärksten Linsen seines Plössl'schen Mikroskops zusammen 3,15 Millimeter Brennweite. Seit 1848 ist aber Plössl hierin weiter gegangen. Zu seinen früheren sieben Doppellinsen kommt jetzt noch ein System mit dem Zeichen *a*, *b*, *c*, dessen Vergrösserung sich nach Perty (Die Bewegung durch schwingende mikroskopische Organe. Bern 1848, S. 23) zu jener der früheren stärksten Combination wie 38 : 28 verhält; seine Brennweite wird daher wahrscheinlich etwa 2 Millimeter betragen *).

Plössl hat sechs Oculare. Eins derselben besteht aus zwei achromatischen Linsen; sein Gesichtsfeld ist kleiner als bei den anderen, auch giebt es nur eine schwächere Vergrösserung. Diesen Umständen eher als seiner besondern Einrichtung ist die grössere Schärfe des Bildes zuzuschreiben, da nach der frühern Auseinandersetzung (§. 158) gerade in der Aberration des Oculars sich ein Mittel bietet, um die entgegengesetzte Aberration des Objectivs zu beseitigen.

Die Plössl'schen Mikroskope, die ich gesehen habe, sind übrigens durch grosse Helligkeit und Schärfe ausgezeichnet, und im optischen Vermögen werden sie gewiss nur von wenigen übertroffen. Nach Pohl (Sitzungsberichte d. Kais. Akad. zu Wien. 1853. XI, S. 504) ist bei schiefer Beleuchtung mit dem neuesten stärksten Objectivsysteme *abc* und mit dem aplanatischen Oculare bei 292maliger Vergrösserung und bei 8 Par. Zoll Sehweite die 15. Gruppe des Nobert'schen Probetäfelchens noch ganz deutlich, was für ein grosses Unterscheidungsvermögen spricht, mit dem sich muthmaasslich ein grosser Oeffnungswinkel vergesellschaftet. Nach Pohl soll Plössl's Mikroskop hierin das Nachet'sche übertreffen, welches er damit verglich; indessen hatte letzteres dafür das Uebergewicht im begrenzenden Vermögen.

Bei dem frühern Mikroskope Plössl's ging die Vergrösserung mit dem stärksten Oculare und dem stärksten Objective (Nr. 5, 6 und 7) auf

*) Nach Radicke (Optik II, S. 353) hat Plössl auch achromatische Doppellinsen aus Bergkrystall und Flintglas verfertigt. Das geringere Dispersionsvermögen des Bergkrystalls im Vergleiche zum Kronglase kann aber kaum die Mühe aufwiegen, die es haben muss, der doppelten Strahlenbrechung zu entgehen, die dem Bergkrystalle zukommt.

1400 bis 1500. Dasselbe kostet ohne aplanatisches Ocular, ohne Schraubenmikrometer u. dergl. 195 Gulden C.-M., mit dem Schraubenmikrometer 275 Gulden C.-M. Das aplanatische Ocular für sich allein kostet 10 Gulden, der bewegliche Objecttisch 12 Gulden, das Prisma zur horizontalen Stellung des Rohrs 15 Gulden.

Plössl liefert auch einfachere zusammengesetzte Mikroskope, zu denen weniger Objectivsysteme kommen und die daher auch weniger kosten. Eins, dessen mechanische Einrichtung in der Hauptsache wie beim grössern Mikroskope ist, mit fünf achromatischen Linsen, kostet 90 Gulden C.-M., und ein Taschen- oder Reisemikroskop mit gleichviel Linsen, bei dem aber das Kästchen als Fussstück dient, 80 Gulden. Bei diesen beiden ist zwar der Umfang der Vergrösserung niedriger stehend, da ihnen die stärkste Linse fehlt; dessen ungeachtet sind sie für die meisten wissenschaftlichen Untersuchungen ganz ausreichend. Beschränkter in der Anwendung ist noch ein anderes zusammengesetztes Mikroskop, welches mit 45 Gulden auf dem Preiscourante steht und wozu nur drei Objectivlinsen gehören.

Alsbald nach Plössl fingen auch Pistor und F. W. Schiek in Berlin an, achromatische Mikroskope zu fertigen. Späterhin hatte jeder von ihnen seine eigene Werkstatt. Im Jahre 1832 verglich Ehrenberg (Poggend. Annal. 1832. Bd. 24, S. 189) die Mikroskope von Chevalier, von Plössl und von Schiek unter einander und gab denen des letztern den Vorzug vor den beiden anderen. Nach Wagner hingegen (Handwörterbuch d. Phys. Art. Mikroskop, S. 443) standen die Schiek'schen Mikroskope anfänglich den Plössl'schen nach. Gegenwärtig scheinen sie nach dem Zeugnisse von Wagner sowohl als von Schleiden (Notizen a. d. Geb. der Natur- u. Heilkunde. 1847. IV, Nr. 1) im optischen Vermögen einander gleich zu stehen, und beide rühmen auch sehr die Nettigkeit und die genaue Arbeit am Schiek'schen Gestelle.

Die grossen Mikroskope Schiek's (Marienstrasse Nr. 1 in Berlin) stimmen in der mechanischen Einrichtung so ganz mit den Plössl'schen überein, dass eine besondere Beschreibung überflüssig erscheint. Sie unterscheiden sich nur in der Weise, wie die Diaphragmen unter der Oeffnung des Objecttisches angebracht sind, und darin stimmen sie ganz mit dem alten Modell der grossen Oberhäuser'schen Mikroskope.

Dagegen weicht Schiek im optischen Theile von Plössl ab, da er die Linsen zu bestimmten Systemen verbindet, wie man es bei den jetzigen französischen und englischen Mikroskopen und auch bei den späteren Amici'schen findet. Es gehören drei solche Systeme zu seinem Mikroskope, und jedes derselben besteht aus drei achromatischen Doppellinsen. Oculare sind es fünf, darunter ein aplanatisches. Die Vergrösserung geht von 15 bis zu 1000. Mit allem Zubehör, wohin auch ein Schraubenmikrometer, ein Compressorium u. s. w. zu zählen sind, kostet dieses Mikroskop 200 Thaler.

Ein etwas kleineres zusammengesetztes Mikroskop, dessen Gestell so ziemlich mit den grösseren übereinkommt, mit sechs Doppellinsen und vier Ocularen, welches 15 bis 800 Mal vergrössert, kostet 110 Thaler, und wenn noch ein Schraubenmikrometer hinzukommt, 140 Thaler.

Ein noch einfacheres und kleineres zusammengesetzten Mikroskop, zu dem aber die gleichen Linsen wie beim vorhergehenden kommen, und das auch ziemlich die gleiche Vergrösserung erreicht, kostet 80 Thaler.

Schiek hat ferner Mikroskope gefertigt nach dem Oberhäuser'schen Modelle. Das grössere mit trommelförmigem Fusse und beweglichem Objecttische, der zugleich als Schraubenmikrometer dienen kann (und darin zeigt sich eine Verschiedenheit von den Oberhäuser'schen Instrumenten), mit neun Objectivlinsen oder drei Systemen und mit vier Ocularen, von 18 Mal bis zu 800 Mal vergrössernd, kostet 130 Thaler.

Die kleinsten, wozu vier Objectivlinsen und zwei Oculare gehören, und die 40 bis 500 Mal vergrössern, kosten 40 Thaler.

Wünscht man mehr Objectivsysteme, so kann man diese auch einzeln bekommen. Ein Satz von drei Doppellinsen mit schwacher Vergrösserung kostet 12 Thlr., ein solcher mit starker Vergrösserung 18 Thaler.

Nicht so verbreitet als die Instrumente von Plössl und von Schiek sind die Mikroskope von Pistor und Martins in Berlin, früher Pistor und Hirschmann (Marienstrasse Nr. 34). Nach der Beschreibung im Preiscourant zu urtheilen, stimmen sie in der optischen Zusammensetzung ziemlich mit den Schiek'schen Mikroskopen überein. Ob sie ihnen auch im optischen Vermögen gleichstehen, das ist mir unbekannt.

Für die grösseren Mikroskope haben sie zweierlei Gestelle. Das eine unterscheidet sich nicht wesentlich von jenem der Plössl'schen und Schiek'schen Instrumente. Das andere gleicht mehr dem Oberhäuser'schen, unterscheidet sich jedoch von demselben durch drei Stellschrauben, womit der Objecttisch horizontal gestellt wird, und durch einen beweglichen Schlitten, der zugleich als Schraubenmikrometer dient; die gröbere Einstellung wird durch einen Trieb bewirkt, die feinere durch eine Mikrometerschraube. Als etwas bei anderen Mikroskopen nicht Vorkommendes erwähne ich einen Klemmring, der über dem Mikroskoprohre verschiebbar ist und einerseits verhindern soll, dass die Objectivlinse an das Object stösst, andererseits dazu dienen kann, die Stellung des Rohrs für eine gefundene Brennweite schnell wieder ausfindig zu machen. Es gehört ferner ein Ocularschraubenmikrometer zu diesen Mikroskopen. Mit neun Objectivlinsen, die zu drei Systemen vereinigt werden, und mit fünf Ocularen, von denen das eine aplanatisch ist, kann man die Objecte 25 bis 1200 Mal vergrössert sehen. Mit mancherlei Zubehör kostet dieses Mikroskop 250 Thaler.

Das nämliche Instrument mit sechs Objectivlinsen, mit vier Ocularen, 25 bis 1000 Mal vergrössernd, aber ohne Ocularschraubenmikrometer, ohne aplanatisches Ocular und ohne andere Hülfsmittel kostet 150 Thaler.

Das nämliche ohne Objectschraubenmikrometer kostet 115 Thaler.

Das nämliche, wenn aber die gröbere Einstellung nicht durch einen Trieb bewirkt wird, sondern durch Schieben mit der Hand, kostet 110 Thaler.

Auf dem Preiscourant von Pistor und Martins stehen noch andere Mikroskope, die hier aufzuzählen überflüssig erscheint. Nur sei noch bemerkt, dass sie auch Mikroskope ganz nach Oberhäuser'schem Muster machen, die grösseren für 60 bis 75 Thaler, die kleineren für 35 bis 50 Thaler. Zu den letzteren gehören fünf Objectivlinsen und zwei Oculare, und sie vergrössern 25 bis 400 Mal. Auch bei ihnen bekommt man einzelne Objectivsysteme wie bei Schiek.

Die bisher genannten Mikroskopverfertiger in Deutschland stammen noch aus einer Zeit, wo man erst anfing, achromatische Linsensysteme anzufertigen. Unter den späteren hat sich F. A. Nobert, früher in Greifswalde, jetzt zu Barth in Pommern wohnhaft, vortheilhaft bekannt gemacht, namentlich durch eine vortreffliche im Jahre 1846 erschienene Abhandlung (Poggend. Annal. Bd. 67, S. 173) über die Prüfung des optischen Vermögens der Mikroskope mittelst seiner schon wiederholt genannten und später ausführlicher zu beschreibenden Probetäfelchen.

Ende 1852 hatte ich Gelegenheit, eins seiner grossen Mikroskope zu untersuchen. Das ganze Gestell ist offenbar von Schiek und von Plössl genommen, es ist sehr hoch, nämlich 40 bis 45 Centimeter die Fläche überragend, auf der es steht, so dass man nur im Stehen damit arbeiten kann. Die stählerne Stange, an welcher der Mikroskopkörper durch einen Trieb auf- und abgleitet, ist aber nicht dreieckig, sondern halbcylindrisch. Die feine Einstellung wird auf eine ganz einfache Weise bewirkt, die zwar nicht für grössere und kostbare Instrumente passt, aber wegen der Wohlfeilheit sich recht gut für kleinere Instrumente eignet. Der vierseitige Objecttisch ist nämlich mit der Stange durch eine Art Charnier verbunden. Hinten hat er ein rechtwinkelig umgebogenes Ansatzstück, das an der Stange anliegt. Wird nun dieses Ansatzstück nach vorn bewegt, dann hebt sich natürlich der Objecttisch, der sich um die Axe im Charnier dreht. Zu dem Ende geht durch die Stange von hinten nach vorn eine Schraube, die hinten einen gekerbten Knopf hat und deren vorderes Ende gegen das Untertheil des senkrecht herabhängenden Ansatzstückes des Objecttisches stösst. Rückt nun die Schraube vor, so muss sich jener Theil des Objecttisches heben, worauf das Object ruht, und beim Rückwärtsbewegen der Schraube sinkt er wieder durch seine eigene Schwere, bis er an die Stange stösst.

Dieser einfache Mechanismus ist in vielen Fällen ganz ausreichend zur feinen Einstellung, wenn durch den Trieb das Mikroskop schon ziemlich in die gehörige Entfernung vom Objecte gebracht worden ist. Letzteres wird dabei schwach geneigt, und das hat keine Nachtheile, wenn schwächere Objective genommen werden. Bei stärkeren Objectiv-

systemen jedoch, deren Vorderfläche dem Objecte ganz nahe kommt, müssen andere Mittel zur feinen Einstellung gewählt werden, bei deren Anwendung die Fläche des Objecttisches immer senkrecht zur Axe des Mikroskopkörpers steht.

Der Beleuchtungsapparat dieses Mikroskops besteht aus einem grossen Concavspiegel, der sich nur um seine Axe dreht und nicht excentrisch gestellt werden kann; es lässt sich deshalb keine schiefe Beleuchtung herstellen. Unter dem Objecttische befindet sich ein verschiebbares Diaphragma mit drei Oeffnungen von verschiedener Grösse. Am Objecttische ist ein Schraubenmikrometer befestigt mit einem Nonius, der $^1/_{10000}$ Par. Linie angiebt.

Zu diesem Mikroskope gehören drei schwächere Objectivlinsen 1, 2 und 3, die als 1, als 1 + 2 und als 1 + 2 + 3 benutzt werden können. Dazu kommen noch zwei stärkere Objectivsysteme, nämlich 4 und 5. Diese beiden letzteren Systeme haben eine Verbesserungseinrichtung für verschieden dicke Deckplättchen, ganz wie bei Smith und Beck. Die Dicke der Deckplättchen wird durch einen kleinen Apparat (Fig. 298) gemessen, bestehend aus zwei Messingstreifen, die hinten mit einander verbunden sind. Der obere von diesen beiden Streifen ist keilförmig, wodurch ein ebenso gestalteter Zwischenraum entsteht; in diesen bringt man das zu messende Deckplättchen, und die auf dem untern Streifen eingeschnittene Scala giebt die Dicke an.

Fig. 298.



Nobert's Apparat zum Messen der Deckplättchen.

Zu dem Mikroskope gehören ferner vier Oculare, und somit kann man 20 verschiedene Vergrösserungen von 22 bis 1680 haben.

Zu einer genauern Untersuchung habe ich nur das stärkste Objectivsystem benutzt, welches nach meinen Messungen 1,93 Millimeter Brennweite hatte. In einem dem Mikroskope beiliegenden Berichte giebt Nobert an, auf dem beigegebenen Probetäfelchen mit 20 Gruppen von Linien könne man mit dem schwächsten Oculare bei 480maliger Vergrösserung die 15. Gruppe deutlich unterscheiden, mit den stärkeren Ocularen aber die 19., ja manchmal selbst die 20. Gruppe, wo die Strichelchen nur $^1/_{6000}$ Linie von einander entfernt sind. Durch ein Mikroskop, womit blos eine centrische Beleuchtung möglich ist, habe ich jedoch nicht mehr als die 12. Gruppe deutlich zu sehen vermocht. Ich nahm freilich auch noch in der 20. Gruppe Strichelchen wahr, aber nur die gröberen. Als das nämliche System an ein Mikroskop kam, dessen Beleuchtungsapparat schief auffallende Strahlen zulässt, konnte ich höchstens noch die 14. Gruppe deutlich erkennen, während mit einem Amici'schen Objectivsysteme von merklich grösserer Brennweite (2,57 Millimeter) bei dem nämlichen Lichteinfalle die 17. Gruppe noch deutlich erkannt wurde.

Es versteht sich von selbst, dass bei dieser Untersuchung die Verbesserungseinrichtung für die Dicke der Deckplättchen in Anwendung

gezogen wurde. Doch will ich noch bemerken, dass die Beobachtungen bei Tageslicht angestellt worden sind; bei künstlichem Lichte würden vielleicht günstigere Resultate erzielt worden sein.

Kann nun auch dieses Nobert'sche Mikroskop als ein gutes und brauchbares Instrument bezeichnet werden, so muss ich doch gestehn, dass es meinen Erwartungen nicht ganz entsprochen hat, die vielleicht zu hoch gespannt waren, und zwar eben sowohl durch die Ankündigungen des Verfertigers als durch die Lobeserhebungen, welche von anderen Seiten seinen Objectivsystemen zu Theil wurden, indem man z. B. in Schuhmacher's Astron. Nachrichten. 1849. Ergänzungsheft, S. 93 liest, Schleiden habe einzelnen Nobert'schen Systemen vor den Amici'schen den Vorzug gegeben. — Es steht aber zu erwarten, dass Nobert seitdem auch Fortschritte gemacht hat. Wünschenswerth wäre es übrigens, wenn er auch ein anderes Gestell zu seinen Instrumenten wählte, damit man sitzend damit arbeiten könnte.

Das Nobert'sche grosse Mikroskop mit Zubehör kostet 130 Thaler. Ohne Schraubenmikrometer und mit sieben bis acht Objectivlinsen kostet es 100 Thaler. Ferner kostet ein kleines achromatisches Mikroskop mit eigenthümlicher (nicht beschriebener) Einrichtung in einer Messingkapsel von 2 Zoll Dicke und 7 Zoll Länge, also bequem in der Tasche tragbar, mit vier Objectiven und einem Ocular, welches 30, 60, 120 und 250 Mal vergrössert, 28 Thaler.

Seit 1849 hat sich ferner Carl Kellner in Wetzlar als Mikroskopverfertiger einen Namen gemacht. Ich habe nur drei seiner kleineren Mikroskope zu sehen bekommen. Alle drei sind in optischer Beziehung vorzüglich gut gearbeitet; nur haben sie zu wenig Wechsel in der Vergrösserung, da nur Ein Objectiv und zwei Oculare dazu gehören. Das eine davon habe ich genauer untersucht.

Das Objectiv besteht aus zwei achromatischen Doppellinsen und hat eine Brennweite von 7,9 Millimeter. Die Aberrationen, zumal die sphärische, sind aber so vollkommen verbessert, dass man weit stärkere Oculare damit verbinden kann, als es gewöhnlich zu geschehen pflegt; daher schien es, an den nämlichen Probeobjecten geprüft, im optischen Vermögen einem Oberhäuser'schen Linsensysteme von 3,22 Millimeter und einem Nachet'schen Systeme von 4,8 Millimeter Brennweite gleich zu stehen. In dieser Beziehung stand es nur dem Amici'schen Systeme von 8,7 Millimeter Brennweite nach.

Mit den beiden Ocularen hatte man eine 200malige und eine 235-malige Vergrösserung. Zu einem der anderen Mikroskope gehörte übrigens ein stärkeres Ocular, und die Vergrösserung stieg dadurch bis zu 460, jedoch ohne Vortheil für die Beobachtung.

Die Kellner'schen Mikroskope zeichnen sich besonders durch das grosse und geradflächige Gesichtsfeld aus. Sein Durchmesser für eine Sehweite von 25 Centimeter beträgt bei den drei genannten Ocularen

22,26 und 27 Centimeter. Ungeachtet dieser grossen Ausdehnung macht sich gleichwohl fast keine Krümmung des Feldes bemerkbar. Nur mit dem einen Oculare kommen noch schwache Spuren davon vor; die sehr geringe Krümmung liegt aber nach innen, also gerade umgekehrt wie gewöhnlich. Diese Krümmung des Bildes ist dadurch aufgehoben, dass das Ocular die passende Einrichtung hat zur Brennweite des Objectivs (§. 152 u. 162). Es lässt sich nämlich in einem zusammengesetzten Mikroskope die erste Krümmung, welche durch das Objectiv hervorgebracht wird, durch das Collectivglas in eine entgegengesetzte umwandeln, und diese kann ihrerseits durch die wiederum entgegengesetzte des Oculars ganz beseitigt werden. Alles kommt hier auf die Brennweiten der Oculare und der Collectivgläser an, sowie auf deren Abstände von einander; sie müssen zusammen ein Huygens'sches oder negatives Ocular bilden, da mit einem positiven Oculare die Krümmung immer verbleibt und aus leicht begreiflichen Gründen niemals ganz beseitigt werden kann. Bei einem der Kellner'schen Oculare finde ich die Brennweite des planconvexen Oculars 20 Millimeter, jene des biconvexen Collectivglases 32 Millimeter, und ihren wechselseitigen Abstand 25 Millimeter. Diese Verhältnisse sind aber, wie es sich von selbst versteht, eigentlich nur dann ganz richtige, wenn man mit dem Oculare ein Objectiv von bestimmter Brennweite und ein Mikroskoprohr von bestimmter Länge benutzt. Nach Kellner (Das orthoskopische Ocular, eine neu erfundene achromatische Linsencombination u. s. w. Braunschweig 1849) selbst besteht das unterste Glas des Oculars, d. h. also das biconvexe Collectivglas, aus zwei unter einander verbundenen Linsen. Das kann man natürlich an dem fertigen Oculare nicht sehen, und noch weniger, ob diese beiden Linsen aus verschiedenen Glassorten bestehen. Für die Hauptsache, nämlich das Mikroskop orthoskopisch zu machen, ist übrigens diese Einrichtung nicht nöthig; man kann dies eben so gut durch ein einfaches Collectivglas erreichen. Auch ist es mir nicht so vorgekommen, als ob durch ein solches orthoskopisches Ocular das eigentliche optische Vermögen des Mikroskops zunähme; vertauscht man es mit einem andern gewöhnlichen Oculare, so erscheinen die nämlichen Probeobjecte und die nämlichen Gruppen des Nobert'schen Probetäfelchens noch gleich deutlich, wenn sie sich nur in der Mitte des Gesichtsfeldes befinden.

Die ungewöhnliche Grösse des Gesichtsfeldes beim Kellner'schen Mikroskope rührt einestheils davon her, dass das Collectivglas dem Oculare mehr genähert ist, anderntheils auch davon, dass, zum Theil hierdurch, die Kellner'schen Oculare stärker vergrössern. Das schwächste Ocular giebt gut eine achtfache Vergrösserung des durch das Objectiv erzeugten Bildes, während die schwächsten Oberhäuser'schen und Nachet'schen Oculare noch nicht halb so stark vergrössern.

Die mechanische Einrichtung dieser Mikroskope ist einfach und zweckmässig. Sie haben einen scheibenförmigen Fuss, einen runden Objecttisch, dazwischen einen kleinen Hohlspiegel und ein drehbares

Diaphragma mit vier Oeffnungen. Die feine Einstellung wird durch eine hinten an der Stange angebrachte Mikrometerschraube bewirkt, ähnlich wie an den neuern Instrumenten von Oberhäuser und Nachet.

Nach Kellner's Tode im Jahre 1856 ist Fr. Belthle an die Spitze des optischen Instituts in Wetzlar gekommen. Von einer Commission, bestehend aus Leuckart, Phöbus, Wernher und Welcker, ist vor Kurzem ein Bericht veröffentlicht worden (H. Welcker, Ueber Aufbewahrung mikroskopischer Objecte. Giessen 1856. S. 40), nach welchem die jetzt daselbst verfertigten Mikroskope den besten Kellner'schen beinahe gleich kommen und in der mechanischen Einrichtung es ihnen noch zuvorthun.

Belthle's grosse Mikroskope mit einem Spiegel zur schiefen Beleuchtung, einer Objectdrehscheibe, vier Objectivsystemen und drei Ocularen, die nach dem Preiscourant für 8 Zoll Schweite 75 bis 2800 Mal vergrössern, kosten 108$^1/_3$ Thaler.

Eins dergleichen, aber ohne das stärkste System Nr. 4 und ohne Ocular Nr. 3, kostet 80$^1/_3$ Thaler. Wird dazu auch noch das System Nr. 2 weggelassen, dann kostet es nur 75$^1/_3$ Thaler.

Er verfertigt ausserdem kleinere Mikroskope, die aber auch einen Spiegel zur schiefen Beleuchtung und eine Objectdrehscheibe haben, mit zwei Ocularen und den Systemen Nr. 1 und 3 für 50$^1/_3$ Thaler. Seine kleinsten Mikroskope endlich, zu denen blos das System Nr. 2 gehört, kosten 33$^1/_3$ Thaler.

Ferner haben sich in neuerer Zeit Bénèche und Wasserlein in Berlin als Mikroskopenverfertiger einen Namen gemacht. Ende 1850 hatte ich Gelegenheit, einige ihrer kleinen Mikroskope, sowie ein grosses Mikroskop zu untersuchen. Die kleineren Instrumente hatten ganz die nämliche Einrichtung wie die kleinen Oberhäuser'schen Mikroskope; für das grössere Mikroskop hatten Schiek und Plössl als Muster gedient. In optischer sowohl wie in mechanischer Hinsicht liessen diese Instrumente viel zu wünschen übrig. Die Vergrösserung war in einem zu starken Maasse in das Ocular verlegt, und doch war weder die sphärische noch die chromatische Aberration der Objective, trotz ihrer ziemlich grossen Brennweite, in hinreichendem Maasse verbessert, um mit so starken Ocularen ein reines und scharfes Bild zu geben.

Später haben sie diesen Weg verlassen und sich mehr darauf gelegt, starke Objective zu verfertigen. Bereits im Jahre 1851 erwähnt Schacht (Das Mikroskop und seine Anwendung. Berlin 1851, S. 19) ihrer Objective, die der Nr. 7 von Oberhäuser nur wenig nachstanden und also vermuthlich eine Brennweite von nicht ganz 4 Millim. hatten, und ein Jahr später berichtete derselbe (Botan. Zeitung 1852, S. 319) über ein von ihnen verfertigtes System, dessen Vergrösserungskraft zu Nr. 9 von Oberhäuser im Verhältniss von 450 : 400 stand, so dass

man also annehmen muss, seine Brennweite werde nur etwa 1,5 Millim. betragen. Im optischen Vermögen erachtete Schacht dieses System dem genannten stärksten Systeme Oberhäuser's ganz gleich. Noch später endlich verfertigten sie ein Objectivsystem Nr. 11, das unter allen bisher gelieferten die kürzeste Brennweite zu haben scheint, da es nach Schacht (Botan. Zeitung 1852, S. 700) mit dem nämlichen Oculare eine doppelt so starke Vergrösserung giebt als Oberhäuser's Nr. 9. Das Bild soll nach Schacht Schärfe und Helligkeit besitzen und frei von Farben sein.

Vor Kurzem hatte ich Gelegenheit, mich davon zu überzeugen, dass Bénèche und Wasserlein seit der Zeit, wo ich ihre kleineren Mikroskope sah, wirklich grosse Fortschritte gemacht haben. Bénèche war gleichzeitig mit mir nach Bonn gekommen und hatte eins von seinen grossen Mikroskopen mitgebracht. Es hat ganz die Form und die Einrichtung von Oberhäuser's grossen Mikroskopen. Bei einigen Beobachtungen mit dem Systeme Nr. 11 hatte ich ganz nette und saubere Bilder; doch überzeugte ich mich auch davon, dass sein Vergrösserungsvermögen und somit auch die Kürze seiner Brennweite weit hinter dem gleichnamigen Systeme zurückstanden, dessen Schacht gedacht hat. Die Vergrösserung mit dem schwächsten zu jenem Mikroskope gehörigen Oculare, das aber noch etwas stärker ist als das schwächste Oberhäuser'sche Ocular, ging wenig über 450 Mal hinaus. Ich vermuthe daher, dass ein Irrthum in Schacht's Bestimmung sich eingeschlichen hat *).

*) Da es sich hier um einen für die Geschichte und die Kenntniss des gegenwärtigen Zustandes des Mikroskops nicht unwichtigen Punkt handelt, so erachte ich es für nöthig, noch einige Worte hinzuzufügen über die stärksten bisher gefertigten Objectivsysteme. Pritchard hat schon im Jahre 1837 ein System von $\frac{1}{18}$ engl. Zoll (1,3 Millimeter) Brennweite hergestellt. Das stärkste System von Powell hat $\frac{1}{16}$ engl. Zoll (1,5 Millimeter) und das auf S. 717 erwähnte System Nr. 8 von Nachet hat, bei grösster Annäherung der untersten Linse 1,07 Millimeter Brennweite. Wenham (*Quart. Journ* 1857, XIX. *Transact.* p. 142) hat unlängst ein Linsensystem zu Stande gebracht, dem er selbst $\frac{1}{25}$ engl. Zoll (1 Millimeter) Brennweite zuschreibt, die aber doch nach dem Berichterstatter Shadbolt bis zu $\frac{1}{20}$ engl. Zoll (1,2 Millimeter) geht. Nun hat das stärkste System Nr 9 meines Oberhäuser'schen Mikroskops 1,7 Millimeter Brennweite, und wäre Schacht's Bestimmung richtig, dann würde das stärkste System Nr. 11 von Bénèche und Wasserlein nur ungefähr eine halb so grosse Brennweite, also von 0,85 Millimeter haben. Das von mir untersuchte und oben erwähnte System hat aber zuverlässig eine weit grössere Brennweite, wenngleich mir damals, als ich es untersuchen konnte, nicht die Mittel zu Gebote standen, dieselbe ganz genau zu bestimmen. Die Vergrösserung habe ich nämlich auf Umwegen bestimmt, da ich kein Mikrometer zur Hand hatte. Die mittlere Länge des Bildes einiger Schalen von *Pleurosigma angulatum*, durch Doppelsehen gemessen, wurde festgestellt, und späterhin wurde dann die wahre mittlere Grösse solcher Schalen mikrometrisch gefunden. Auch die Brennweiten der beiden Gläser des Oculars und ihr wechselseitiger Abstand wurden gemessen,

Bénèche und Wasserlein liefern ihre grossen Mikroskope, die ganz nach dem Muster der Oberhäuser'schen Mikroskope gefertigt sind, mit den Objectivsystemen Nr. 4, 7, 9 und 11 und mit fünf Ocularen um 170 Thaler.

Ein kleineres desgleichen ohne das System Nr. 11 kostet 100 Thaler.

Ein noch kleineres mit den Systemen 4 und 7 und mit drei Ocularen, das ungefähr den kleineren Mikroskopen von Oberhäuser und von Nachet gleichkommt, kostet 30 Thaler.

Die Instrumente anderer Optiker in Deutschland kenne ich zu wenig, als dass ich sie anders als nur im Vorbeigehen erwähnen könnte.

Die Mikroskope von Kriegsmann in Magdeburg wurden in der Botanischen Zeitung 1844, S. 456, und 1845, S. 608, gerühmt; in Betreff der Helligkeit und der Vergrösserung sollten sie den Schiek'schen zum mindesten gleich kommen. Ein Mikroskop nach dem Muster des kleinen Oberhäuser'schen, bis zu 500 Mal vergrössernd, kostet bei ihm 40 Thaler.

Ferner werden von Bojung Scato Georg (*Diss. de evolutione sporidiorum in capsulis muscorum.* Gotting. 1844) die Mikroskope von Meyerstein in Göttingen gerühmt; sie sollen eine Vergleichung mit den Schiek'schen und Oberhäuser'schen aushalten.

Im Jahre 1844 sandte Matthiessen in Altona einen kurzen Bericht über seine Mikroskope an die französische Akademie (*Comptes rendus.* XVIII, p. 1158), wornach er es sich besonders hat angelegen sein lassen, kleine achromatische Linsen bis zu $^3/_4$ Millim. Durchmesser herzustellen. Zur Verlängerung der Brennweite bringt er hinter das Linsensystem einen divergirenden Meniskus. Um über die Tüchtigkeit seiner Mikroskope zu urtheilen, bedarf es natürlich noch anderer Bürgschaften als blos des kleinen Durchmessers seiner Objective.

Ueber zwei neuere deutsche Mikroskopenverfertiger hat vor Kurzem Rud. Wagner (Nachrichten v. d. G. A. Universität u. d. Königl. Ges.

sowie die Länge des Rohrs. Das eine wie das andere habe ich dann mit den nämlichen Abständen eines grossen Oberhäuser'schen Mikroskops verglichen und mich davon überzeugt, dass beim letztern das schwächste Ocular an der Vergrösserung der Bilder einen geringern Antheil nimmt, als bei dem untersuchten Mikroskope von Bénèche und Wasserlein. Kann nun auch dieses Verfahren lange nicht auf Genauigkeit Anspruch machen, so habe ich mich doch durch dasselbe davon überzeugt, dass das genannte System Nr. 11 keineswegs alle andern im Vergrösserungsvermögen übertrifft, vielmehr eine nur um weniges geringere Brennweite als Nr. 9 von Oberhäuser haben kann; es müsste denn jenes System, welches Schacht früher unter dieser Bezeichnung erhalten hat, ganz verschieden sein von jenem, welches zu meiner Verfügung stand. Zwei gleichnamige Systeme aus derselben Werkstatt sind allerdings zwar niemals vollkommen gleich, die Verschiedenheiten liegen aber doch für gewöhnlich in sehr engen Grenzen.

der Wiss. zu Göttingen. 1857, Nr. 19, S. 253) Einiges mitgetheilt. Der erste ist Hensoldt in Sonnenberg, dessen Mikroskope die Kellner'schen nachahmen, denen sie zwar in optischer Beziehung nicht ganz gleichkommen, vor denen sie dagegen im Mechanischen den Vorzug haben sollen. Sie kosten 50 Thaler und haben zwei Linsensysteme und drei Oculare, deren stärkstes Wagner jedoch unbrauchbar fand. — Der zweite ist Krüss in Hamburg. Derselbe verfertigt Mikroskope in der Form der kleinen *Microscopes coudés* von Oberhäuser und von Schiek, und zwar um den beispiellos niedrigen Preis von 20 Thaler. Nach Wagner sind sie für den ersten Unterricht und für die gewöhnlichsten histologischen Untersuchungen ganz empfehlenswerth, da sie eine 300-malige sehr klare Vergrösserung geben, die bei sehr vielen Untersuchungen ganz ausreicht. Auch die mechanische Einrichtung ist ganz gut.

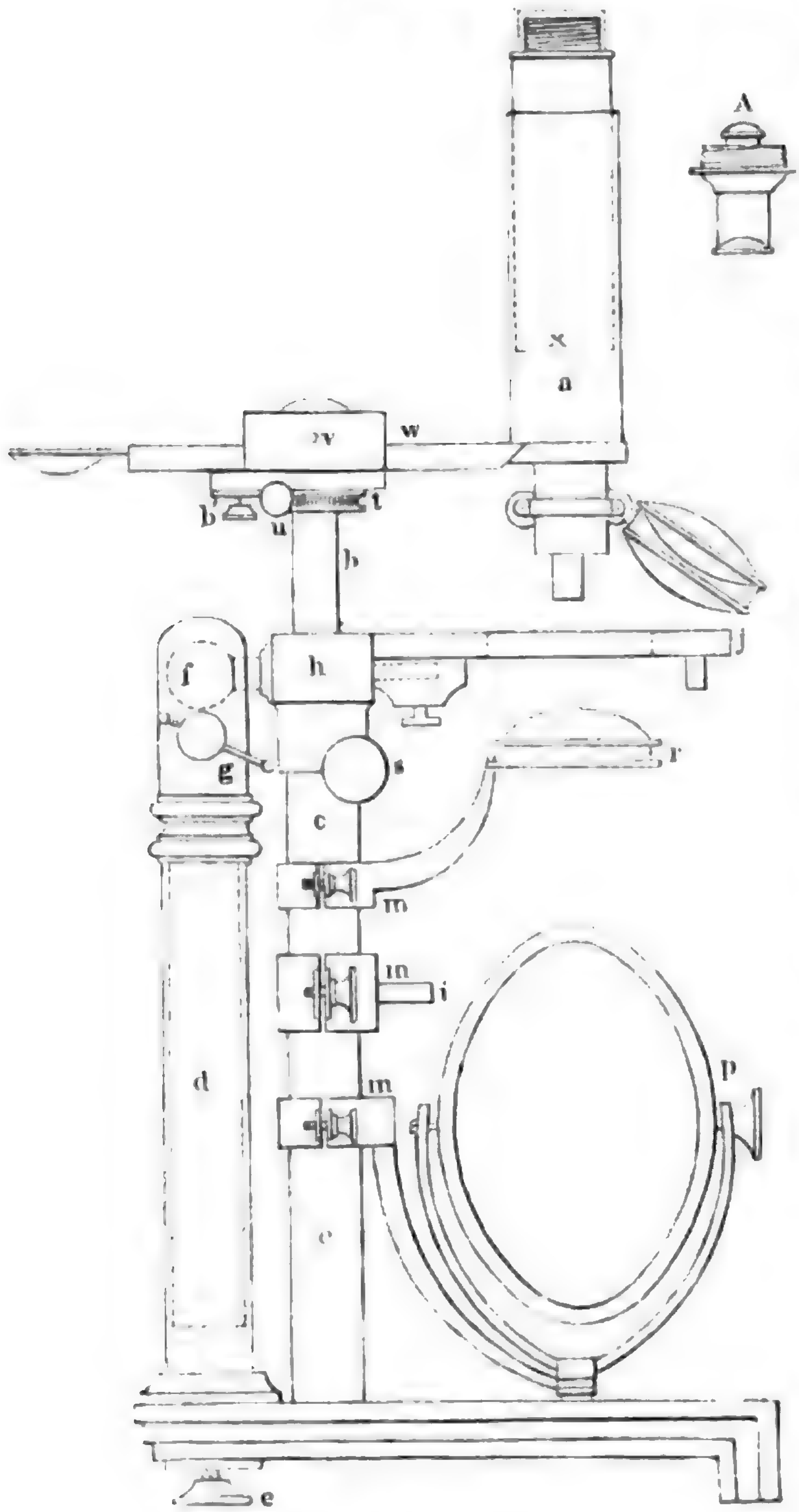
Während man auf dem Continente in der Kunst, leistungsfähige Mikroskope zu verfertigen, so grosse Fortschritte machte, blieb man auch in England nicht zurück. Wir haben schon oben (S. 696) gesehen, dass William Tulley, angetrieben und ermuthigt durch C. R. Goring, sich auf die Anfertigung achromatischer Linsen gelegt und eine dergleichen zu Stande gebracht hatte von 22 Millim. Brennweite und 18° Oeffnungswinkel. Etwas später verfertigte er eine zweite, die gleich der ersten aus drei einzelnen Linsen bestand, 13 Millim. Brennweite hatte und vor die erste zu liegen kam, wodurch eine Combination entstand, die 9 Millim. Brennweite und einen Oeffnungswinkel von 38° hatte (*Philos. Transact.* 1830, p. 187). 438

Grossen Einfluss auf die Verbesserung des Mikroskops in England übte Joseph Jackson Lister, der die Benutzung planconvexer achromatischer Doppellinsen empfahl, wie sie Chevalier bereits angefertigt hatte, und theoretisch die beste Weise nachwies, wie sie zu Linsensystemen vereinigt werden könnten. (§. 64.) Früher schon suchte er auch das Gestell der Mikroskope zu verbessern, und unter seiner Leitung verfertigte James Smith im Jahre 1826 ein zusammengesetztes (doch nicht achromatisches) Mikroskop, woran schon mehrere von den mechanischen Verbesserungen vorkommen, wodurch sich die späteren englischen Mikroskope so sehr auszeichnen. (Quekett l. l. p. 37, wo dieses Mikroskop auch abgebildet ist.)

Nach Tulley ist vor Allen Andrew Pritchard in London (Fleetstreet Nr. 162) als Verfertiger achromatischer Mikroskope unter den Engländern zu nennen. Unterstützt von Goring, welcher dadurch, dass er eine Anzahl Probeobjecte in Aufnahme brachte, die sich vor anderen zur Untersuchung eines Mikroskops eignen, zu dessen allmäliger Verbesserung wesentlich beitrug, verfertigte Pritchard seit 1829 achromatische Linsensysteme, die alsbald mit den damaligen Chevalier'schen und Amici'schen den Vergleich aushalten konnten.

Das erste Mikroskop, bei dem er diese Linsensysteme in Anwendung brachte, war nach den Ideen und Vorschriften Goring's verfertigt, der ihm den schon früher gebrauchten Namen „Engyskop" beilegte (Fig. 299). Es ist zuerst beschrieben in den *Microscopic Illustrations by C. R. Goring and A. Pritchard. Lond.* 1830. Auf einem Dreifusse mit verstellbaren Füssen, und ausserdem noch auf der höher und niedriger stellbaren Schraube *e* ruhend, erhebt sich eine hohle cylindrische Säule, innerhalb deren sich eine zweite Säule *d* befindet; diese lässt sich in der erstern herumdrehen, und mit ihr der ganze Mikroskopkörper. Am oberen Ende dieser zweiten Säule befindet sich eine runde muldenförmige Höhlung: darin steckt die Kugel *f*, mit welcher das Stück *h* verbunden ist, der Träger der Stange *c c* und des vierseitigen Objecttisches j. Vermöge dieses Kugelgelenkes kann nun das ganze Instrument in verschiedenartige Richtungen gebracht und unter verschiedenen Winkeln aufgestellt werden. Die Schraube *g* mit dem dazu gehörigen Wirbel dient dazu, die Kugel in der Höhlung unbeweglich festzustellen. An der hohlen cylindrischen Stange *c c* schieben sich die drei Klammringe *m m m* auf und nieder: der unterste von den dreien trägt den eirunden Spiegel *p*, der auf der andern Seite mit Gyps bestrichen ist; der zweite soll dazu dienen, dass man an

Fig. 299.

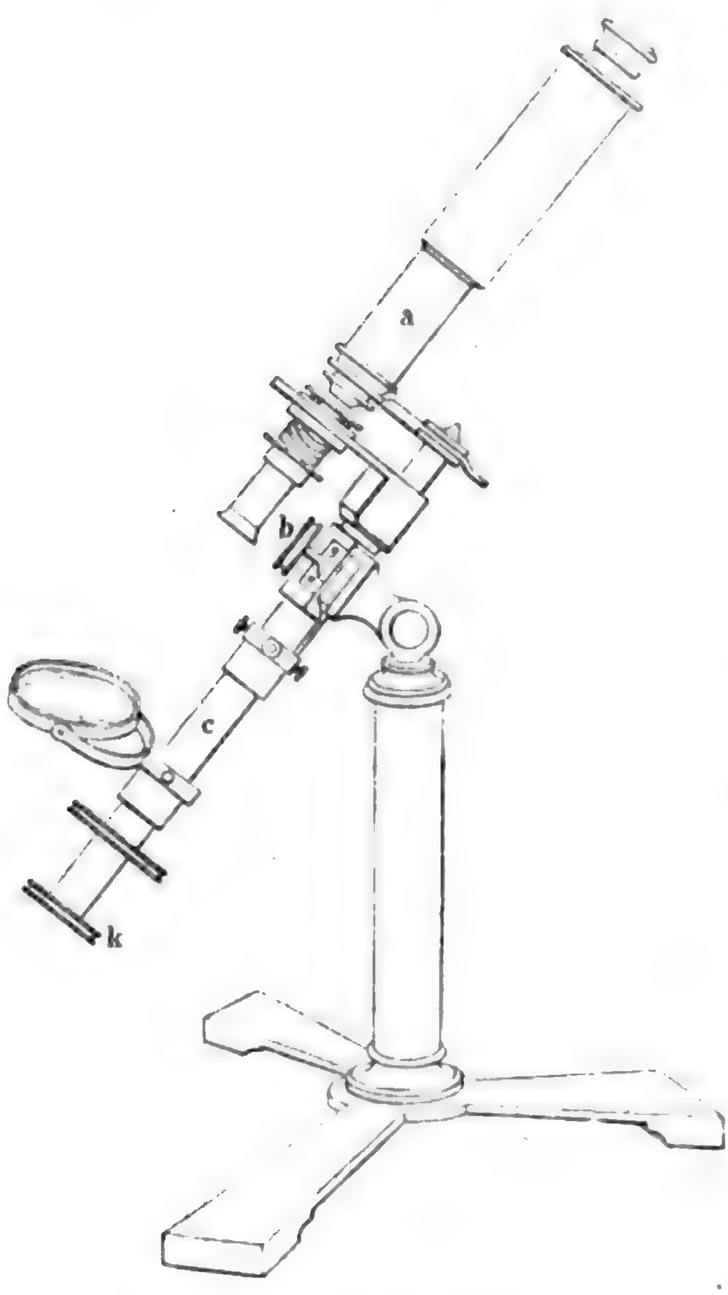


Goring's Engyskop.

die Feder *i* den Objecttisch anschraubt; mit dem obersten ist die grosse Beleuchtungslinse *r* verbunden. In der Höhlung des Stabes *cc* bewegt sich durch den Trieb *s* die gezahnte Stange *b*; dieselbe ist dreiseitig, hat abgestumpfte Kanten und passt in die dreieckige Höhle zweier Stücke, die sich im obersten Theile der Stange *cc* befinden. Auf dieser dreiseitigen oder eigentlich sechsseitigen Stange ruht der Arm *w*, der an dem einen Ende das Mikroskoprohr *a* trägt, am andern hingegen die Linsen, für den Fall, dass das Instrument als einfaches Mikroskop gebraucht werden soll. Es lässt sich dieser Arm in dem Stücke *v* hin- und herschieben durch den Trieb *b*, und eine drehende Bewegung hat er durch die gezahnte Scheibe *t*, in welche eine Schraube ohne Ende greift.

Bei der Erfindung dieses Gestelles hatte sich Goring von dem Gedanken leiten lassen, ein zusammengesetztes Mikroskop müsse so eingerichtet sein, dass es unter allen Umständen und zu jeder Art von Untersuchungen benutzt werden kann. Daher rühren die mancherlei Bewegungen, deren jeder Theil des Instrumentes fähig ist. Um aber damit einen hinreichenden Grad von Festigkeit des Ganzen in Verbindung zu bringen, musste das ganze Instrument sehr gross und schwer ausfallen, so dass es sich nicht gut handhaben liess. Ueberdies gewähren auch die meisten dieser Bewegungen nur in einer beschränkten Anzahl von Fällen wirklichen Nutzen. Mit Recht hat daher Pritchard seinen eigenen Mikroskopen in späterer Zeit eine andere Einrichtung gegeben.

Fig. 300.



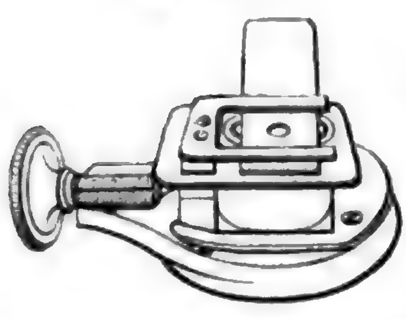
Mikroskop von Pritchard.

Ein Pritchard'sches Mikroskop vom Jahre 1837 ist in Fig. 300 dargestellt. Eine Erklärung dieses Mikroskops ist kaum nöthig, da der wichtigste Theil der Einrichtung ganz mit

jener seines einfachen Mikroskops (s. Fig. 263) übereinstimmt. Auch lässt es sich auf der Stelle in dieses umwandeln, wenn man das Mikroskoprohr *a* aus dem Ringe entfernt, in den es eingeschraubt ist. Dieses Gestell ist auch insofern besser als das Goring'sche, weil neben der raschen Bewegung des Objecttisches durch einen Trieb, wozu der breite geränderte Knopf *b* gehört, auch noch für eine langsame Bewegung gesorgt ist durch eine in dem Rohre *c* verborgene Mikrometerschraube, deren Knopf bei *k* hervorragt, in der früher beschriebenen Weise.

Im nämlichen Jahre beschrieb Pritchard (*Micrographia* p. 218) noch eine andere Einrichtung zu feiner Einstellung der Objecte (Fig. 301), die zu den vorzüglichern unter denen zählt, welche überhaupt von Pritchard (*Microscopic Cabinet. Chapt.* 15) beschrieben worden sind. Am Objecttische ist nämlich eine Platte befestigt, durch welche eine Schraube geht, die in eine kegelförmige Spitze ausläuft. Diese Spitze drückt gegen das Stück, welches den Objectträger bildet, so dass dieses dadurch wie auf einer geneigten Fläche gehoben wird, und eine darüber angebrachte Feder drückt es wieder nach unten.

Fig. 301.



Pritchard's Objecttisch.

Die Pritchard'schen Mikroskopgestelle aus noch späteren Jahren, wie sie z. B. in der 1845 erschienenen dritten Auflage der *Microscopic Illustrations* p. 88 beschrieben sind, unterscheiden sich von Fig. 300 hauptsächlich darin, dass das ganze Mikroskop, statt auf einem Dreifusse, auf einem runden Fusse ruht, und dass die Säule, welche den Mikroskopkörper trägt, sich um ihre Axe dreht, eine Einrichtung, deren Nutzen die verursachten grösseren Kosten kaum aufwiegen dürfte. Der runde Fuss dagegen ist wohlfeiler und nimmt nicht so viel Raum ein als der Dreifuss, der seinerseits wiederum darin den Vorzug hat, dass er überall auch auf einem nicht ganz ebenen Boden stehen kann.

Was den optischen Theil dieser zusammengesetzten Mikroskope betrifft, so scheint Pritchard eine Zeitlang allen anderen voraus gewesen zu sein in der Anfertigung von Objectivsystemen mit sehr kurzer Brennweite. Schon 1837 war von dergleichen die Rede, deren Brennweite nicht über $^1/_{18}$ englische Zoll (1,3 Millim.) betrug (*Micrographia. Lond.* 1837, p. 46), also eine so geringe, wie sie auch jetzt nur noch von wenigen erreicht wird.

Zu Pritchard's Mikroskopen gehören gewöhnlich sechs achromatische Linsensysteme, die nach eigener Angabe (*Microsc. Illustr.* 1845, p. 99) folgende Brennweiten und Oeffnungswinkel haben:

2	englische Zoll oder	50,8	Millimeter	und	10°	Oeffnungswinkel;
1	» » »	25,4	»	»	15°	»
$^1/_2$	» » »	12,7	»	»	22°	»
$^1/_4$	» » »	6,4	»	»	40°	»
$^1/_8$	» » »	3,2	»	»	50°	»
$^1/_{16}$	» » »	1,6	»	»	70°	»

Ferner kommen drei Oculare dazu, die im Vergrösserungsvermögen sich wie 1, 2 und 4 zu einander verhalten, so dass man Vergrösserungen von 20 bis zu 3000 bekommen kann.

Ueber die relative Tüchtigkeit der Pritchard'schen Mikroskope kann ich nicht aus eigener Prüfung mich aussprechen. Es unterliegt keinem Zweifel, dass sie viele Jahre hindurch zu den besten gehört haben. Pritchard hat sich aber wohl später von manchen seiner Landsleute und ebenso von manchen Optikern des Festlandes überflügeln lassen. Die Tabelle über die Oeffnungswinkel seiner Linsensysteme zeigt auch, dass dieselben kleiner sind als bei Amici's Objectiven und als bei jenen von Ross und Powell. Ferner fehlt auch den Pritchard'schen Mikroskopen der Correctionsapparat für die Deckplättchen, der bei den anderen neueren englischen Mikroskopen überall vorkommt.

Die jüngste Erwähnung eines Pritchard'schen Mikroskops habe ich im *Report of Juries* der Londoner Ausstellung von 1851 gefunden, wo es von einem zur Ausstellung gebrachten Instrumente heisst: „Ein achromatisches Mikroskop von altmodischer Form, mit mässig guten (*indifferent*) Objectiven, welches im mechanischen Theile ganz gut ist.“

In der Zeitordnung folgt auf Pritchard jetzt Andrew Ross in London (*Featherstone Buildings*, *Holborn Nr.* 2). Dieser fing 1832 an, achromatische Linsen zu verfertigen. Schon im vorhergehenden Jahre hatte er sich aber als tüchtiger Mechaniker bekannt gemacht durch das oben (S. 650) beschriebene einfache Mikroskop, und ausserdem hatte er auch Gelegenheit gehabt, mit der Theorie des Achromatismus vertraut zu werden, da er Barlow bei der Darstellung des Flüssigkeitsobjectivs für Fernrohre geholfen und dabei auch die Berechnung der nöthigen Krümmungen für eine solche Linse ausgeführt hatte (Quekett l. l. p. 41).

Ross hat sich besonders grosse Mühe gegeben, den Oeffnungswinkel der Linsensysteme zu vergrössern, was ihm auch so gut gelungen ist, dass seine Objective in dieser Beziehung längere Zeit hindurch alle anderen übertrafen, und auch gegenwärtig noch kommen ihm nur wenige gleich. Die folgende Uebersicht seiner Fortschritte, wie er sie zum Theil selbst mitgetheilt hat (Quekett l. l. p. 430), ist deshalb nicht ohne Interesse.

Zeit der Verfertigung.	Brennweite.	Oeffnungswinkel.
1832 . . .	1 engl. Zoll = 25,4 Millim. . . .	14°
1833 . . .	Desgl. . . .	18°
1834 . . .	1/4 engl. Zoll = 6,5 » . . .	55°
1836 . . .	1 » » = 25,4 » . . .	15°
» . . .	1/8 » » = 3,2 » . . .	60°
» . . .	1/10 » » = 2,5 » . . .	72°
» . . .	1 » » = 25,4 » . . .	22°
» . . .	1/8 » » = 3,2 » . . .	64°
1842 . . .	1/2 » » = 12,7 » . . .	44°
» . . .	1/4 » » = 6,3 » . . .	63°
» . . .	1/8 » » = 3,2 » . . .	74°.

Im Jahre 1844 besuchte Amici England und brachte ein Linsensystem mit, bei dem statt des Flintglases das schwere Glas von Faraday genommen worden war: es hatte eine Brennweite von 1/7 englische Zoll oder 3,6 Millim. und einen Oeffnungswinkel von 112°. Ross verfertigte ein Objectiv von gleicher Zusammensetzung, fand aber das Glas von Faraday zu weich und zu zerbrechlich, als dass es eine feine Politur anzunehmen vermochte. Er gab es daher auf, wandte sich wieder zum gewöhnlichen Flintglase und brachte endlich Objective von 1/8 Z. (3,2 Millim.) mit einem Oeffnungswinkel von 85°, und Objective von 1/12 Z. (2,1 Millim.) mit einem Oeffnungswinkel von 135° zu Stande.

Das Mikroskop, welches Ross 1851 auf die Londoner Ausstellung lieferte und wofür er die Medaille erhielt, hatte folgende Objective:

1	engl.	Zoll	oder 25,4	Millim.	Brennweite	u. 27°	Oeffnungswinkel;
1/2	»	»	» 12,7	»	»	u. 60°	»
1/5	»	»	» 5,1	»	»	u. 113°	»
1/8	»	»	» 3,2	»	»	u. 107°	»
1/12	»	»	» 2,1	»	»	u. 135°	»

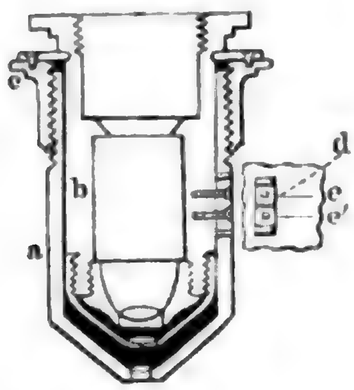
Von der Jury wurde dieses Mikroskop sehr gelobt, namentlich darüber, dass die Doppellinsen, welche die Objective zusammensetzten, aus verschiedenen Glassorten bestanden, wodurch die Farben des secundären Spectrums, die bei Objectiven von gewöhnlicher Zusammensetzung stets zurückbleiben, fast gänzlich beseitigt waren.

Spätere Objective von Ross haben aber selbst einen noch weit grössern Oeffnungswinkel. Objective von 1/8 Zoll (3,2 Millim.) Brennweite und einem Oeffnungswinkel von 155° erwähnte 1853 bei der Jahressitzung der *Microscopical Society* deren Präsident G. Jackson. (*Quart. Journ.* 1853, III. *Transact.* p. 82.)

Auch hat Ross zuerst in England beobachtet, dass ein Linsensystem, welches gut aplanatisch war, so lange die damit betrachteten Objecte unbedeckt blieben, diese Eigenschaft verlor, sobald ein Deckplättchen auf die letzteren kam. Er entdeckte dies im Jahre 1837 (*Transact. of*

the Soc. of Arts 1837, XLVIII, p. 8), ohne, wie es scheint, zu wissen, dass Amici bereits früher, im Jahre 1829, diesen Einfluss beobachtet hatte. Auch schlug er einen ganz andern Weg ein, um denselben zu beseitigen; er suchte es nämlich dadurch zu erreichen, dass er die Entfernung zwischen der stärksten untersten Linse und den beiden oberen Linsen veränderlich machte, wie es Fig. 302 im Durchschnitte dargestellt ist. Am Ende der Röhre *a* befindet sich die vorderste oder unterste Linse; diese Röhre gleitet aber über der Röhre *b*, worin die übrigen Linsen stecken. Soll nun in der Linsenstellung eine Veränderung vorgenommen werden, so kann man durch Umdrehen der Schraube *c* die äussere Röhre *a* über die innere bewegen. In der Röhre *a* befindet sich eine Oeffnung, durch welche man den auf der innern Röhre befindlichen Strich *d* sieht, und die äussere Röhre hat selbst zwei Striche *e* und *e'*, einen längern und einen kürzern. Fällt der längere Strich mit dem Striche auf der innern Röhre zusammen, dann passt das Objectiv für ein unbedecktes Object; liegt dagegen der innere Strich mit dem kürzern äussern Striche in gleicher Linie, dann ist das Objectiv für ein Deckplättchen von $^1/_{100}$ englische Zoll ($^1/_4$ Millimeter) Dicke corrigirt.

Fig. 302.



Objectiv von Ross mit veränderlicher Linsenstellung.

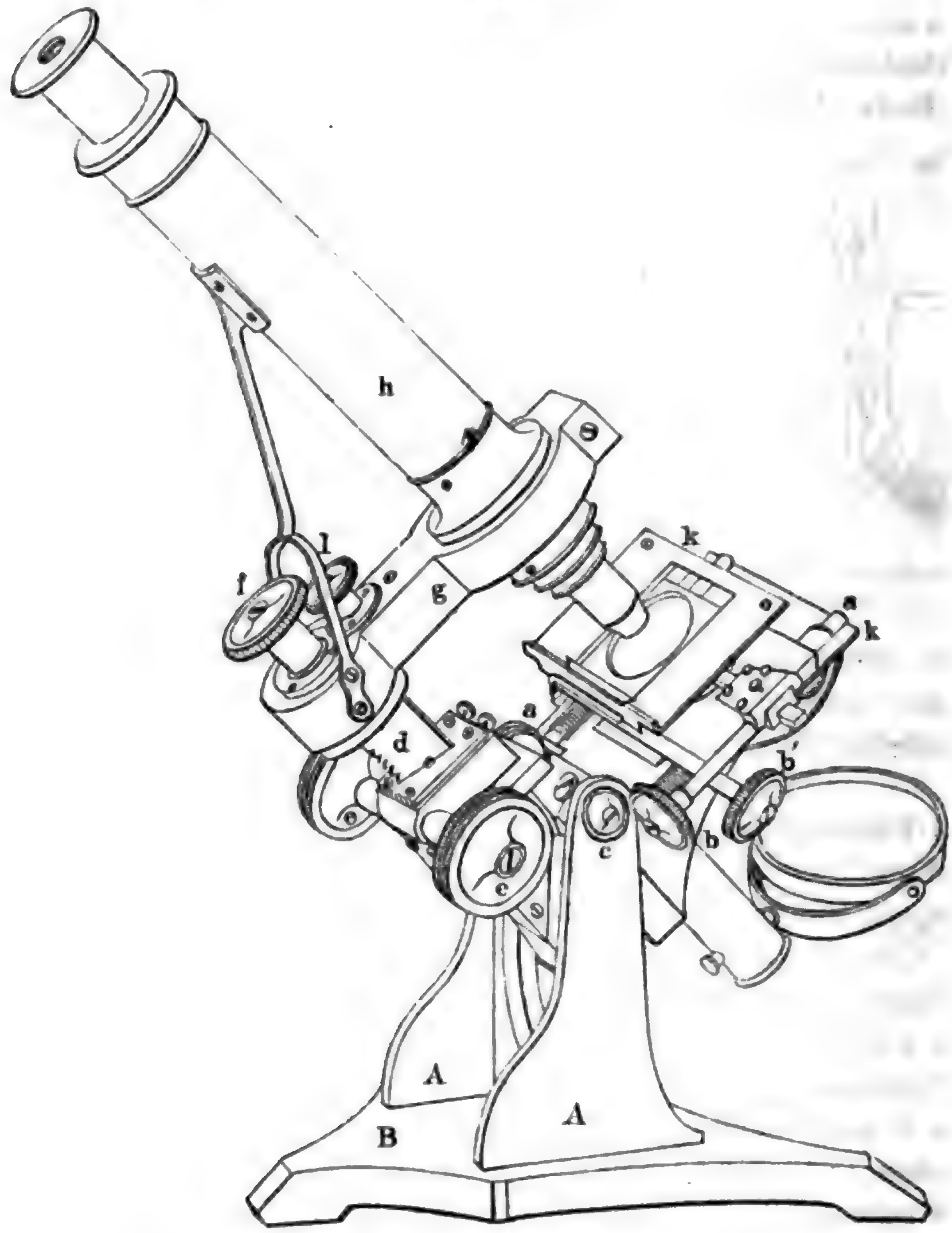
Diese Einrichtung ist allerdings wohl einfacher als die Amici'sche (S. 720), dafür lässt sie aber auch in der Wahl der Deckplättchen einen weit geringern Spielraum; denn beim Amici'schen Mikroskope hat man bestimmte Combinationen für den Gebrauch ohne Deckplättchen, oder für den Gebrauch mit Deckplättchen von $^1/_5$, $^1/_4$, $^1/_3$, $^1/_2$, 1 und $1^1/_2$ Millimeter Dicke.

Die Gestelle von Ross sind mehr oder weniger zusammengesetzt und darnach auch mehr oder weniger kostbar. Das vollständigste, welches er selbst 1843 im *London physiological Journal* beschrieb, ist in Fig. 303 (a. f. S.) dargestellt. Auf einem schweren Dreifusse *B* erheben sich zwei vertical stehende Theile *A A**). Bei *c* befindet sich eine Axe, um welche das ganze Instrument in verticaler Ebene sich herumdreht. Dieses ist aber so eingerichtet, dass der Drehpunkt ziemlich mit dem Schwerpunkte des Ganzen zusammenfällt. Der Objecttisch *kk* ist in zwei rechtwinkelig gegen einander gestellten Richtungen über einen zollgrossen Raum beweglich mittelst der gereiften Cylinder *aa*, welche durch Drehung der geränderten Knöpfe *b* und *b'* in Bewegung gesetzt werden. Die dreiseitige

*) Die Benutzung zweier Säulen oder Stangen statt Einer, um den Körper des Mikroskops horizontal stellen zu können, wurde zuerst von George Jackson im Jahre 1838 eingeführt (*Microsc. Journal* I, p. 177).

Stange *d*, welche den Arm *g* mit dem Mikroskoprohre *h* trägt, wird durch die geränderten Knöpfe *ee* auf- und niederbewegt; zur feineren Einstel-

Fig. 303.



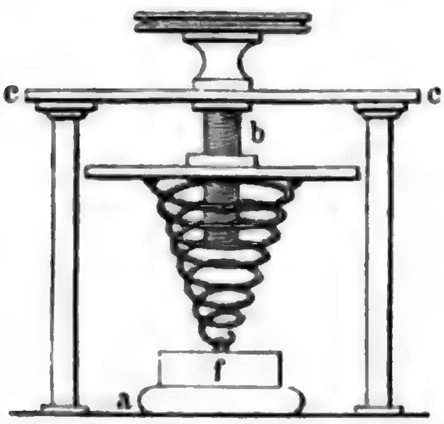
Mikroskop von Andrew Ross.

lung aber dient der geränderte Knopf *f*, der mit einer Schraube und einem Hebel verbunden ist, so dass das Mikroskoprohr durch jede vollständige Umdrehung um $^1/_{300}$ Zoll sich hebt oder senkt. Durch den andern geränderten Knopf *l* wird der Arm *g* fest an die dreiseitige Stange *d* gedrückt.

Ross hat noch mehrere andere Gestelle von etwas verschiedener Form, die man in der *Penny Cyclopaedia*, Art. *Microscope*, sowie bei Quekett (l. l. p. 86) beschrieben und abgebildet findet, die aber hier zu beschreiben nicht nöthig ist. Bei allen seinen Instrumenten hat Ross auf grosse Festigkeit besonders Bedacht genommen, um einer Erschütte-

rung und zitternden Bewegung möglichst vorzubeugen. Zu diesem Ende hat er auch eine besondere Vorkehrung ausgedacht, den Fuss des Mikroskops festzustellen, die in Fig. 304 dargestellt ist. Bei *f* sieht man das Ende eines der Füsse vom Dreifusse des Mikroskops; es ruht auf dem Stücke Filz *a*, welches auf dem Tische liegt. An dem Fussende befindet sich aber eine Klammer, in welche das hakenförmig umgebogene Ende einer Spiralfeder greift, und diese Feder stösst ihrerseits an eine Platte, so dass sie durch die Schraube *b* abwärts getrieben wird. Die Schraube bewegt sich nämlich in der Platte *cc*, die von drei Füssen getragen wird, von denen aber in der Figur nur zwei angegeben sind.

Fig. 304.



Einrichtung zur Feststellung des Mikroskopfusses von Ross.

Diese Einrichtung, obwohl sie gut ausgedacht ist, scheint mir doch dem beabsichtigten Zwecke zu wenig zu entsprechen; denn die wirksamste Veranlassung zu Bewegungen des Mikroskops, nämlich die Erschütterung der Wände des Gebäudes, worin man arbeitet, durch Fuhrwerke u. dgl., lässt sich dadurch wohl niemals ganz beseitigen.

Ross hat folgende Preise:

Das eben beschriebene Mikroskopgestell mit allen zugehörigen Apparaten und zwei Ocularen, aber ohne Objectivsystem, kostet 36 Pfund 10 Schilling.

Ein kleines Mikroskop mit der nämlichen mechanischen Einrichtung wie das erstere kostet 16 Pfund 16 Schilling.

Das Gestell allein für die am einfachsten eingerichteten Mikroskope kostet 5 Pfund 10 Schilling.

Das nämliche mit zwei Ocularen und zwei achromatischen Objectivsystemen von 1 Zoll und 1/4 Zoll Brennweite kostet 14 Pfund 15 Schilling.

Zu diesem Mikroskope sowohl wie zu den anderen kann man die Objectivsysteme einzeln haben, und zwar zu folgenden Preisen:

2	Zoll	Brennweite	für	3	Pfund	—	Schilling;
1	»	»	»	3	»	10	»
1/2	»	»	»	5	»	5	»
1/4	»	»	»	5	»	5	»
1/8	»	»	»	8	»	8	»
1/12	»	»	»	12	»	—	»

Das grosse zusammengesetzte Mikroskop, mit allen Objectivsystemen versehen, kommt demnach auf 73 Pfund 18 Schilling.

Einige Jahre nach Ross, nämlich 1834, fing Hugh Powell, nachdem er bisher andere physikalische Instrumente angefertigt hatte, auch mit Mikroskopen an und brachte es darin in wenigen Jahren sehr weit.

Er hat sich mit seinem Schwager Lealand vereinigt, und die Firma Powell and Lealand in London (4 *Seymour Place*, *Euston Square*, *New Road*, *opposite St. Pancreas Church*) ist jetzt in England gleich berühmt wie Ross.

Zuerst machte er sich durch die zweckmässige Einrichtung zur feinen Einstellung des Objecttisches bekannt (*Transactions of the Soc. of Arts* 1834. L.). Die langsame Bewegung kommt hier nämlich dadurch zu Stande, dass der Tisch auf drei Füsschen ruht, unter denen drei geneigte Flächen gleichzeitig durch eine Schraube bewegt werden, von deren einmaliger Umdrehung der Tisch um $^1/_{300}$ Zoll sich hebt oder sich senkt. Am Knopfe der Schraube ist eine Eintheilung in zwanzig Theile, so dass mithin $^1/_{6000}$ Zoll angegeben wird. Auch kann die Einrichtung zugleich zum Messen der Brennweite benutzt werden.

Powell machte aber auch im optischen Theile rasche Fortschritte, und 1840 brachte er ein achromatisches Objectiv von $^1/_{16}$ englische Zoll (1,6 Millim.) Brennweite zu Stande, dem von einem competenten Beurtheiler, von Quekett (l. l. p. 43), grosses Lob gezollt wird. Nur ist es unrichtig, wenn Quekett dasselbe als das erste englische Objectiv von so kurzer Brennweite bezeichnet, da Pritchard schon mehrere Jahre früher aplanatische Objective mit gleich kurzer, ja selbst mit noch kürzerer Brennweite geliefert hatte.

Er hat sich weiterhin noch mehr vervollkommnet, und 1856 hat er ein Objectivsystem von $^1/_{16}$ engl. Zoll Brennweite zu Stande gebracht, welches den noch nicht erreichten Oeffnungswinkel von 175⁰ besitzen soll. Nach dem Zeugniss von Shadbolt (*Quart. Journ.* 1857, XIX. *Transact.* p. 141) leistet es Vorzügliches und verdient das höchste Lob.

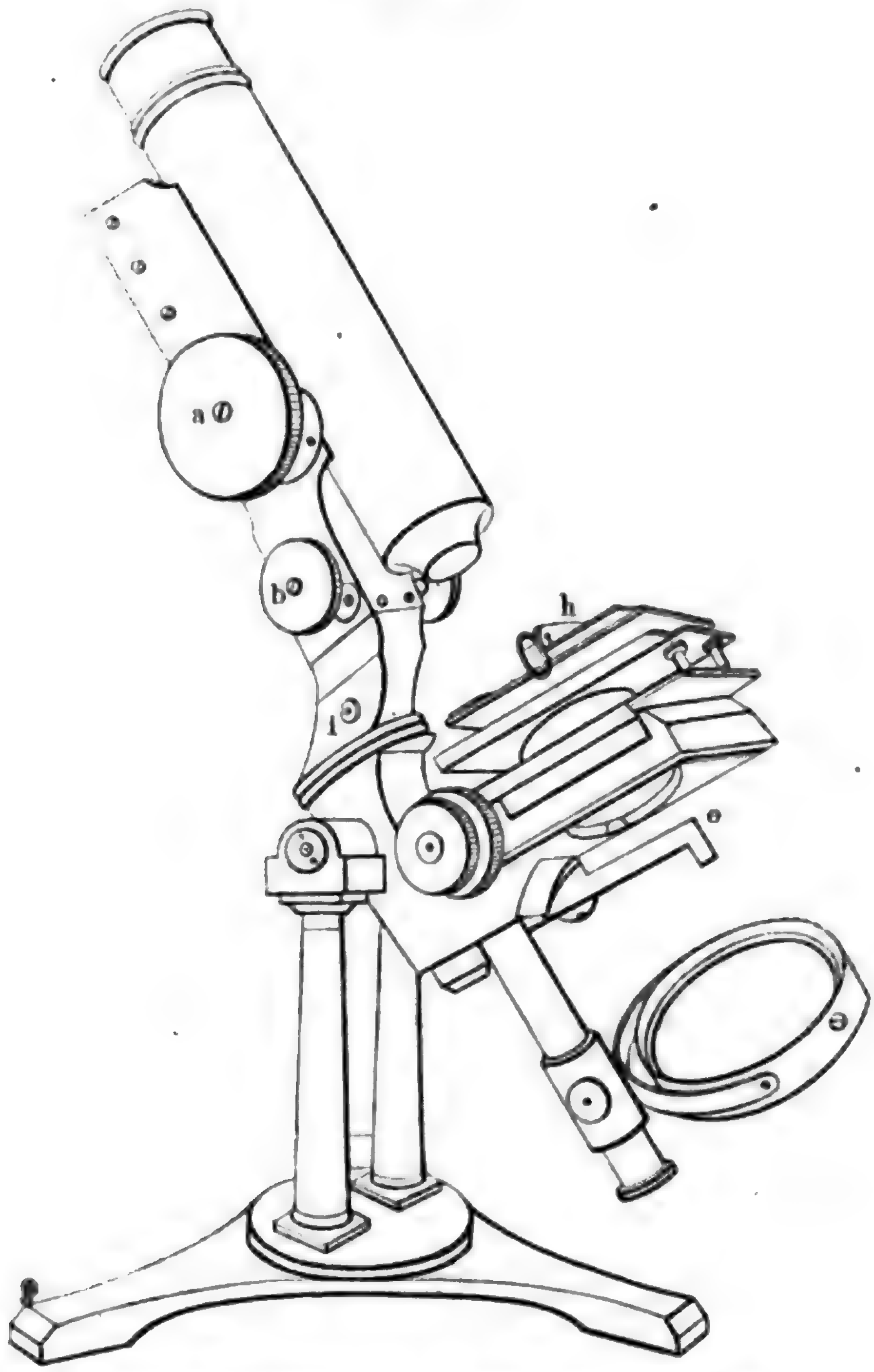
Die schädliche Wirkung der Deckplättchen sucht er auf dem nämlichen Wege zu beseitigen wie Ross.

Zu seinen Mikroskopen kommen Linsensysteme von 2 Zoll bis $^1/_{16}$ Zoll Brennweite und drei Oculare, die in dem Verhältniss von 1, 2 und 3 vergrössern, so dass man eine Reihe von Vergrösserungen erhalten kann, die von 20 bis zu 2500 gehen.

Auch verdient das Mechanische an Powell's Mikroskopen alles Lob; mit Zierlichkeit, Feinheit und genauer Arbeit verbindet sich Festigkeit. Er hat übrigens verschiedene Gestelle, und nach einander hat er damit verschiedene Veränderungen vorgenommen. Eins seiner grossen Mikroskope, wie er sie seit 1841 (*Microscopic. Journ.* I, p. 177) lieferte, ist in Fig. 305 dargestellt. Auf einem festen messingenen Dreifusse ruht eine runde Platte, die sich herumdrehen lässt; auf ihr stehen zwei runde Säulen, zwischen denen der Körper des Mikroskops eine verticale, ebenso aber auch eine unter verschiedenen Winkeln geneigte Stellung annehmen kann. Zur groben Einstellung dient der geränderte Knopf *a*, durch welchen ein Trieb in Bewegung gesetzt wird. Die feinere Einstellung geht vom Knopfe *b* aus, oder von einem ähnlichen auf der entgegengesetzten Seite: mit der hierdurch umgedrehten Schraube hängt ein kegel-

förmiges Stück zusammen, wogegen ein anderes Stück, das mit dem Rohre verbunden ist, mittelst einer Feder andrückt. Der unterste Theil

Fig. 305.



Grosses Mikroskop von Powell und Lealand.

des Armes, welcher das Rohr trägt, hat bei *i* einen kegelförmigen Stachel, der in das Stück passt, womit der Objecttisch verbunden ist, und so lässt sich das Rohr zur Seite drehen, wenn das Objectiv gewechselt werden soll. Der Objecttisch hat den beweglichen Tyrrell'schen Schlitten, von dem weiterhin die Rede sein wird, und auch ein Schraubenmikrometer; er kann ferner um seine Axe gedreht werden, und oben hat er eine Klemmfeder *h* zum Festhalten der Objecte. Unter dem Objecttische bei *e* befindet sich ein kurzer Arm, um schwarze Scheiben darauf zu legen, wenn man zur Beleuchtung undurchsichtiger Objecte reflectirende Hohlspiegel gebraucht. Der Spiegel ist concav und eben und kann zur cen-

trischen und excentrischen Beleuchtung benutzt werden; unter den Objecttisch kann ein achromatisches Linsensystem geschraubt werden, oder ein drehbares Diaphragma mit verschiedenen Oeffnungen.

Der Preis dieses Mikroskops geht, je nach der Anzahl der Linsensysteme und nach dem ferneren Zubehör, von 40 Pfund bis zu 60 Pfund. Ein recht vollständiges Mikroskop der Art bekommt man aber für 45 Pfund.

Auch mancherlei andere Gestelle, die mehr oder weniger von dem beschriebenen abweichen, und die hier nicht alle beschrieben werden sollen, kommen aus der Werkstatt von Powell und Lealand. Eins davon ist noch theurer als das vorige, da das Mikroskop mit allen dazu gehörigen Apparaten gegen 100 Pfund kostet. Die bedeutende Grösse und Schwere des ganzen Instruments, namentlich des Objecttisches, der sieben Quadratzoll gross ist und alle Bequemlichkeiten und Bewegungen kleinerer Instrumente nur in grösserem Maassstabe darbietet, bedingt hauptsächlich diesen hohen Preis. Späterhin scheint jedoch dieses Gestell nur wenig gesucht worden zu sein.

Sie haben indessen auch viel wohlfeilere Gestelle gemacht. Viel Abgang haben namentlich jene, bei denen der Dreifuss, die Säulen und der Objecttisch aus Gusseisen bestehen, und die im Uebrigen so eingerichtet sind, dass sie mit den stärksten Objectivlinsen benutzt werden können und für alle Zwecke ebenso brauchbar sind als die weit theueren Instrumente.

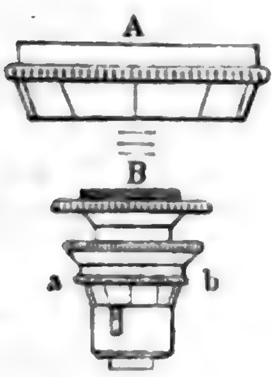
Das Gestell für sich mit den Ocularen kostet 17 Pfund 11 Schilling. Die Objectivsysteme sind im Ganzen etwas billiger als bei Ross:

2	Zoll	Brennweite	3	Pfund	3	Schilling;
1	»	»	3	»	3	»
1/2	»	»	4	»	4	»
1/4	»	»	5	»	5	»
1/8	»	»	7	»	7	»
1/12	»	»	9	»	9	»
1/16	»	»	10	»	10	»

Der Dritte von denen, die gegenwärtig in London den meisten Ruf wegen achromatischer Mikroskope haben, ist Smith, mit der Firma: Smith *and* Beck, Nr. 6, *Coleman-Street*, City. Schon viele Jahre früher hatte er gewöhnliche Mikroskope verfertigt; aber erst 1839 fing er mit achromatischen Objectivlinsen an und 1841 legte er der *Microscopical Society* ein Mikroskop vor, welches im folgenden Jahre (*Microscop. Journal* II, p. 1) beschrieben wurde. Es gehörten vier Objectivlinsen dazu, welche theils für sich, theils mit einander verbunden gebraucht werden konnten; die stärkste hatte 1/4 Zoll Brennweite. Er verbesserte aber seine Mikroskope mehr und mehr und liefert jetzt auch Objectivsysteme von 1/8 und 1/12 Zoll Brennweite.

In dem Verfahren von **Ross** die Objective für die Benutzung von Deckplättchen einzurichten, hat er eine erfolgreiche Verbesserung eingeführt, die gewiss bald allgemeiner befolgt werden wird, da sie in noch stärkerem Maasse als die **Amici**'sche Methode auch bei Deckplättchen von sehr verschiedener Dicke zulässig ist. **Smith** stimmt darin mit **Ross** und mit **Powell** überein, dass die unterste Linse des Systems durch Drehung des Röhrchens, worin sie gefasst ist, den beiden anderen mehr genähert oder entfernter davon gerückt werden kann; er wendet aber ein Mittel an, wodurch, wenn die Dicke des Deckplättchens bekannt ist, diese Entfernung derartig eingerichtet wird, dass sie der Dicke des Deckplättchens sowohl als der Entfernung zwischen Ocular und Objectiv, welche hier durch Herausziehen oder Hineinschieben des innersten Rohres verlängert oder verkürzt werden kann, am besten entspricht. Er hat nämlich den Objectiven die in Fig. 306 dargestellte Einrichtung gegeben. Die bewegliche Röhre, worin die unterste Linse steckt, und die bei *A* in wahrer Grösse dargestellt ist, hat einen vorspringenden Rand mit zehn Eintheilungen, die von 0 bis 9 bezeichnet sind. Eine gleichwerthige Eintheilung ist an dem geränderten Knopfe des Mikroskops angebracht, mittelst dessen die feine Einstellung bewirkt und zugleich auch die Dicke der Deckplättchen gemessen wird: 15 Abtheilungen kommen auf $^{1}/_{100}$ Zoll in der Luft, etwa 10 auf $^{1}/_{100}$ Zoll im Glas.

Fig. 306.



Objectiv mit verstellbaren Linsen von **Smith**.

Ist nun das Mikroskoprohr nicht ausgezogen, so muss der eingetheilte Rand *ab* des Objectivs *B* gedreht werden, bis 0 dem verticalen Striche auf der Röhre gegenübersteht, wobei dann zwei oder drei horizontale Striche, deren jeder eine vollständige Umdrehung des Randes bezeichnet, ganz freiliegen. So weit ungefähr lässt sich die Schraube ohne Mühe herumdrehen.

Will man dann wissen, wie weit jener Rand gedreht werden muss, damit das Objectiv für ein Deckplättchen von einer gewissen Dicke passt, so multiplicirt man die Zahl der Theilungen, wodurch die Dicke angegeben wird, die also auf dem geränderten Knopfe zur feinen Einstellung stehen, mit 0,7 für das Objectiv von $^{4}/_{10}$ Zoll Brennweite, und mit 0,9 für das Objectiv von $^{1}/_{4}$ Zoll Brennweite. Man bekommt die verlangte Verbesserung, wenn man den Rand bis zur Ziffer des erhaltenen Products dreht, indem man ihn abwärts schraubt und das Rohr der untersten Linse aufwärts drückt.

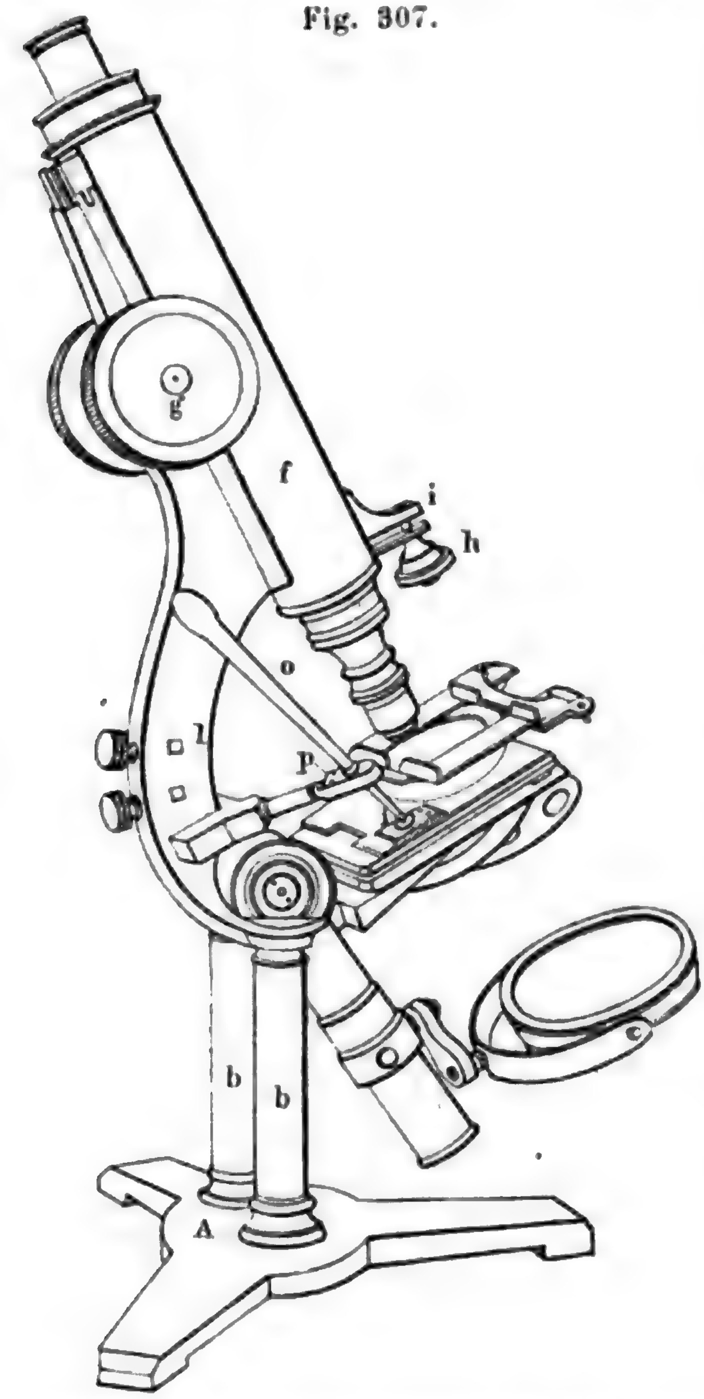
Ist das Mikroskoprohr ausgezogen und man benutzt das Objectiv von $^{4}/_{10}$ Zoll Brennweite, so muss die Ziffer, auf welche der Rand eingestellt wird, vermehrt werden um:

2,5	Abtheilungen für	1	Zoll	Auszug,
4	" "	2	"	"
5	" "	3	"	"
6	" "	5	"	"

Beim Objective von $^1/_4$ Zoll Brennweite übt die Verlängerung des Rohrs weniger Einfluss. Für die vier ersten Zolle der Verlängerung kann man jedoch rechnen, dass die Ziffer für jeden Zoll um eine Abtheilung vermehrt werden muss.

Die Mikroskope von Smith werden sehr gelobt. Auf der Londoner Ausstellung im Jahre 1851 erhielt er den nämlichen Preis wie Ross, auf der Pariser Ausstellung im Jahre 1855 aber bekam er eine Medaille erster Klasse. Sie haben vorzügliche Objective, wenn auch die Londoner Jury jenen von Ross eine grössere Vorzüglichkeit einräumte. Erwähnt muss werden, dass Smith Objective von $^4/_{10}$ engl. Zoll (6,1 Mm.) Brennweite verfertigt mit dem ausserordentlichen Oeffnungswinkel von 90°, wodurch sie sich besonders zur Beobachtung von Objecten bei auffallendem Lichte eignen.

Fig. 307.



Grosses Mikroskop von Smith und Beck.

Man hat sich indessen immer mehr davon überzeugt, dass in dem Maasse, als durch Vergrösserung der Oeffnung der Objective das Unterscheidungsvermögen des Mikroskops zunimmt, dessen begrenzendes Vermögen abnimmt. In der Rede, womit Georg Shadbolt am 11. Februar 1857 die Versammlung der *Microscopical Society* eröffnete (Quart. Journ. 1857. XIX. *Transact.* p. 143), liest man daher, dass Smith und Beck ihre stärkeren Objective mit einem drehbaren Diaphragma mit verschiedenen Oeffnungen versehen haben, damit die Oeffnung des Objectivs nach Willkür vergrössert oder verkleinert werden kann. Diese Einrichtung habe ich aber

aber schon 1849 an einer weiterhin folgenden Stelle dieses Buches empfohlen.

Smith hat auch verschiedene Gestelle zu verschiedenen Preisen. Eines seiner grossen Mikroskope ist in Fig. 307 dargestellt. Auf dem festen Dreifusse *A* ruhen die Säulen *b* und *b*. Diese haben oben Charniere, zwischen denen der Arm *l* aufgehangen ist und mittelst deren das ganze Instrument unter verschiedene Winkel gebracht werden kann. Dieser Arm hat ganz nach oben und innen zwei Rinnen, in denen sich zwei Stangen auf- und niederbewegen, die an das Mikroskoprohr *f* befestigt sind. Eine Rinne nebst der zugehörigen Stange ist dreikantig, die andere eben und mit einer Zahnleiste versehen; die letztere ist dazu bestimmt, durch den geränderten Knopf *g* das Mikroskoprohr auf und nieder zu schieben, während die erstere hierbei nur als Conductor dient. Innerhalb des Mikroskoprohrs befindet sich ein zweites, das ausgezogen werden kann und zur Aufnahme der Oculare bestimmt ist; an sein unteres Ende aber passt ein kürzeres Rohr, welches durch die Schraube *i* sich auf- und niederwärts schieben lässt, die ihrerseits wieder auf das Ende eines Hebels wirkt, wodurch die feine Einstellung zu Stande kommt. Auf den geränderten Knopf *h* sind zehn Abtheilungen eingeschnitten, um die Dicke der Deckplättchen zu messen. Der Objecttisch hat zweierlei Bewegungsapparate, nämlich den Schlitten von Tyrrell, und den Apparat von Alfred White, welcher durch den Hebel *o* wirkt; von beiden wird bei den Hülfswerkzeugen näher die Rede sein. Der Beleuchtungsapparat besteht aus einem in allen Richtungen beweglichen concaven und ebenen Spiegel, aus einem drehbaren Diaphragma und aus einem achromatischen Lichtverstärker, der in der Figur nicht abgebildet ist.

Ausser diesen grossen Mikroskopgestellen werden in der Werkstatt von Smith und Beck noch manche andere von einfacherer Construction gefertigt. Eins davon stimmt ziemlich mit jenem der Oberhäuser'schen Mikroskope, doch ist der Fuss, gleichwie bei den neueren Instrumenten des letztern, so eingerichtet, dass der Spiegel eine freie Bewegung hat.

Das Gestell der grossen Mikroskope von Smith und Beck, ohne die achromatischen Objectivsysteme und ohne das Kästchen für das ganze Instrument, kostet 16 Pfd. 16 Schill.

Das zugehörige Mahagonikästchen allein kostet 3 Pfd. 10. Schill.

Mehrere andere Gestelle von geringerer oder grösserer Zusammensetzung kosten 5 Pfd. 10 Schill. bis 12 Pfd. 12 Schill.

Das Gestell des kleinsten vorhin erwähnten Mikroskops mit sammt dem Kästchen, aber ohne Objectivsysteme, kostet nur 2 Pfd. 15 Schill.

Die zu diesen Mikroskopen gehörigen Objectivsysteme haben folgende Preise:

3 Zoll und $1\frac{1}{2}$	Zoll Brennweite	vereinigt	4	Pfd.	—	Schill.
$1\frac{1}{2}$	» »	allein	3	»	—	»
$1\frac{1}{4}$ » » $\frac{2}{3}$	» »	vereinigt	4	»	4	»
$\frac{2}{3}$	» »	allein	3	»	3	»
$\frac{4}{10}$	» »	»	5	»	5	»
$\frac{1}{4}$	» »	»	5	»	5	»
$\frac{1}{8}$	» »	»	7	»	7	»
$\frac{1}{12}$	» »	»	10	»	10	»

Ein grosses Mikroskop, mit allen Linsensystemen ausgestattet, würde somit über 58 Pfd. zu stehen kommen.

Ausser den bisher genannten am meisten bekannten Verfertigern achromatischer Mikroskope in London giebt es in England noch andere, die sich mit gutem Erfolge darauf gelegt haben. Dahin gehört J. B. Dancer in Manchester (Cross-street, Nr. 43). Das Gestell seiner grossen Mikroskope stimmt in den meisten Beziehungen mit jenem von Powell und von Smith überein, so dass eine besondere Beschreibung desselben überflüssig ist. Auch die optische Einrichtung ist keine andere, und nach Quekett (l. l. p. 97, wo auch das Gestell beschrieben ist) sind die Linsen sehr gut. Dabei sind Dancer's Mikroskope weit billiger, nämlich:

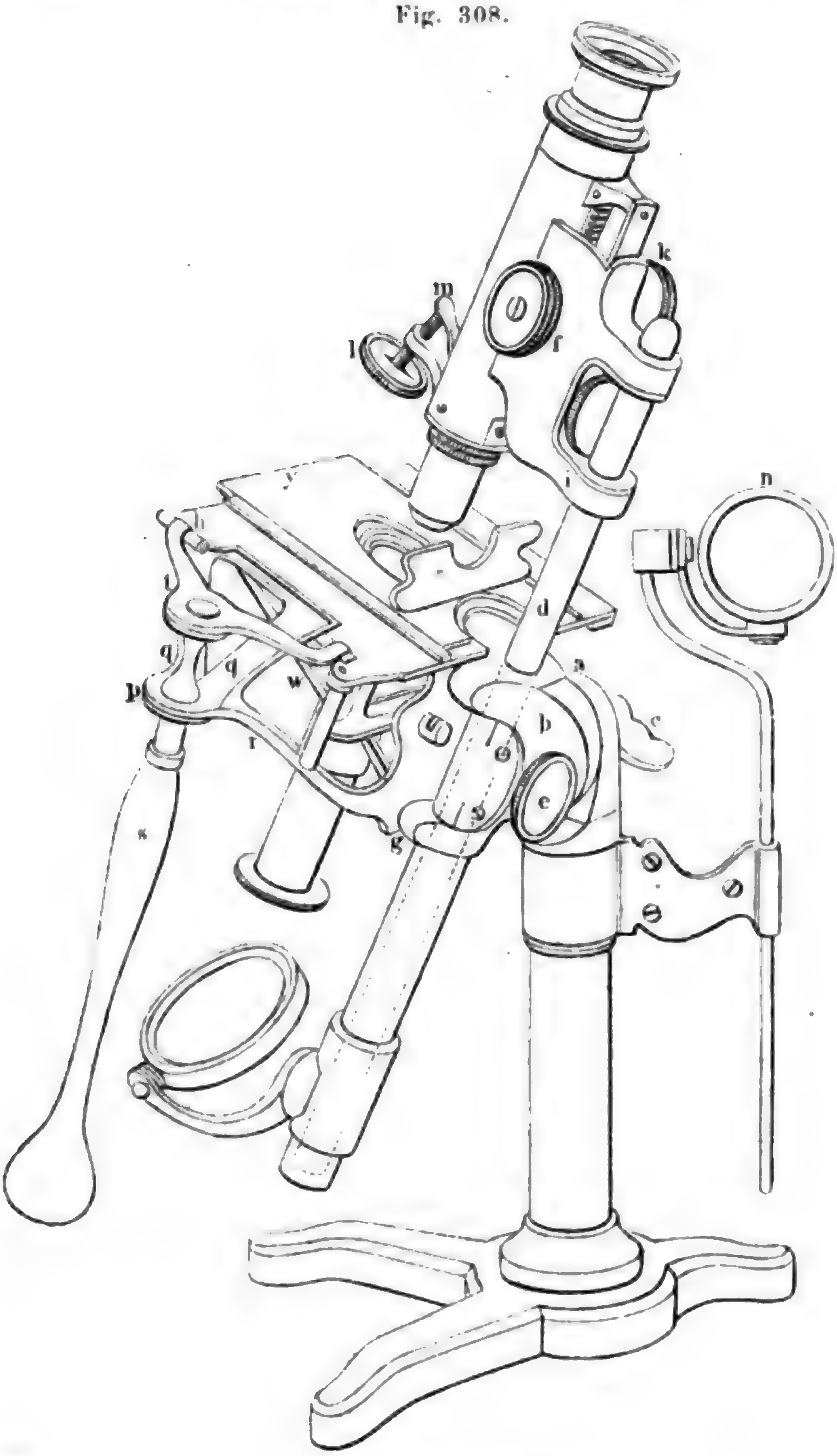
Das Mikroskop mit zwei Linsensystemen von 1 und $\frac{1}{2}$ (oder $\frac{1}{4}$) Zoll Brennweite nebst Einem Oculare kostet 10 Pfd. 10 Schill.

Das Mahagonikästchen dazu . .	1	»	1	»
Ein einzelnes Ocular	—	»	14	»
Ein Objectiv von $\frac{1}{4}$ Z. Brennweite . .	2	»	10	»
Desgleichen $\frac{1}{8}$ »	3	»	3	»
Ein beweglicher Schlitten für den Objecttisch	2	»	2	»

Besondere Erwähnung verdient noch das Mikroskop von Samuel Varley, welches Fig. 308 dargestellt ist. Ein Dreifuss trägt eine schwere runde Säule mit einer platten Scheibe *a* am oberen Ende, die in der Mitte durchbohrt ist; damit steht das Mikroskop in Verbindung mittelst des Stückes *b* und der Schraube *c*. Durch das Stück *b* geht die lange Stange *d*, welche durch die Schraube *e* festgestellt werden kann. An diesem Stücke *b* ist der Objecttisch befestigt, der aus mehreren über einander gleitenden Platten besteht und so eingerichtet ist, dass ein Object auf der obersten Platte mittelst des Hebels *s* in allen möglichen Richtungen sich langsam hin- und herschieben lässt. Wie dies geschieht, soll später beschrieben werden. Das Mikroskoprohr legt sich in die Aushöhlung des Stückes *f*, welches durch die beiden Arme *i* mit der Stange *d* verbunden ist und darauf mit einer Klemmschraube festgestellt werden kann. Hinten ist an dem Rohre eine gezahnte Stange befestigt; mittelst dieser Stange und eines Triebes, dessen gezahnter Knopf bei *k* sichtbar

ist, geschieht die schnelle Bewegung des Mikroskoprohrs. Bei *l* sieht man den geränderten Knopf der Schraube, die zur feinen Einstellung bestimmt ist; sie drückt gegen einen Hebel *m*, der mit einer kurzen Röhre

Fig. 308.



Varley's Mikroskop.

verbunden ist, an welche das Objectiv geschraubt wird. Diese Röhre befindet sich innerhalb des grösseren Rohres und wird dort durch eine Spiralfeder nach unten getrieben, während der Hebel in entgegengesetz-

ter Richtung wirkt *). Zur Beleuchtung dient ein Spiegel, der sich in alle Stellungen bringen lässt, und eine Linse *n* auf einem beweglichen Arme, wodurch dieselbe auf alle gewünschten Punkte und in alle Stellungen gebracht werden kann. Ohne die Objectivsysteme kostet dieses Gestell 20 bis 30 Pfund.

Ausser den bisher Genannten giebt es noch manche andere Verfertiger von Mikroskopen in England, die den drei zuerst genannten Londoner Optikern durch gute Instrumente nahe zu kommen bemüht sind. Dahin gehören M. Pillischer, W. Ladd, Salmon, Amadio, Highley, Matthews in London, W. King in Bristol, Grubb in Dublin, Field u. Comp. in Birmingham **). Die letztgenannte Firma hat sich noch auf besondere Weise verdient gemacht. Wenngleich es nämlich in England an Verfertigern ausgezeichneter Mikroskope nicht fehlte, so wurden doch noch fortwährend die wohlfeileren Instrumente von Oberhäuser und Nachet in Menge dahin verkauft. Deshalb setzte die *Society of Arts* in London Anfangs 1855 zwei Medaillen aus: a) für ein einfaches Mikroskop mit Linsen von 1 Zoll bis $^1/_8$ Zoll Brennweite, welches nicht über 10 Schilling 6 Pence kostete; b) für ein zusammengesetztes achromatisches Mikroskop mit zwei Ocularen und zwei Objectiven, von denen das eine mit dem schwächsten Oculare 25 Mal, das andere 125 Mal vergrösserte, ferner mit einem Spiegel, der auch zur seitlichen Beleuchtung dienen kann und mit einem Diaphragma mit mehreren Oeffnungen; der Preis dieses Mikroskops sollte nicht über 3 Pfund 3 Schilling gehen. Im Falle der Zuerkennung der Medaillen erklärte sich die Gesellschaft bereit, 100 kleinere und 50 grössere Instrumente anzukaufen. Diese Preisausschreibung hatte den besten Erfolg. Am 13. Juni 1855 berichtete die aus den Herren Busk, Dr. Carpenter, Jackson, Dr. Lankester, Quekett und Saunders bestehende Commission, dass sich mehrere Bewerber gefunden hätten, dass sie aber nach sorgfältiger Prüfung den Preis einstimmig den Herren Field u. Comp. in Birmingham zuerkenne, die den gestellten Bedingungen vollkommen Genüge geleistet hätten. Nach Beale (*Quart. Journ.* Oct. 1857. p. 44) ist dieses Mikroskop von Field ein für diesen Preis recht gutes Instrument.

Zum Schlusse dieser Uebersicht der englischen Mikroskope sind hier noch einige mehr für sich dastehende Verbesserungen zu nennen,

*) Dieses Mittel zur feinen Einstellung genügt zwar, um das Objectiv in die rechte Entfernung vom Objecte zu bringen, ist aber in anderer Beziehung nicht ausreichend. Es wird dadurch nämlich auch die Entfernung zwischen Ocular und Objectiv verändert, und somit auch die Vergrösserung. Hieraus folgt aber, dass bei dieser Einrichtung keine mikrometrische Methode Anwendung finden kann, wobei es auf genaue Kenntniss der Vergrösserung ankommt, und eben so wenig ist dabei eins der verschiedenen Ocularmikrometer zu verwenden.

**) Einige davon, nämlich Salmon, Ladd, Highley und Matthews liefern nur die mechanische Einrichtung der Mikroskope und geben dann französische Objectivsysteme dazu.

auf die man in der letzten Zeit gekommen ist. Dahin gehört zunächst die von Wenham (*Quart. Journ.* 1857. XIX. *Transact.* p. 143) ersonnene und auch wirklich in Ausführung gebrachte Modification der Correctionseinrichtung, wodurch die Objective sich zur Verwendung bei Deckplättchen von verschiedener Dicke eignen. Es wurde oben (S. 747) erwähnt, dass Ross zu diesem Zwecke die unterste Linse des Objectivs beweglich machte, um sie bis zu einem gewissen Grade von den beiden anderen entfernen oder aber denselben nähern zu können. Mit dieser Einrichtung ist nur der Nachtheil verbunden, dass man, um die richtige Entfernung der untersten Linse zu finden, das Objectiv immer vom Objecte entfernen muss, damit man nicht gegen das Deckplättchen stösst, und beim Herumdrehen kommt auch das Object aus dem Focus. Deshalb hat Wenham sein Objectivsystem so eingerichtet, dass die unterste Linse unverrückt bleibt, dagegen aber die beiden anderen zusammen sich bewegen: man verliert so das Object nicht aus dem Gesichte und vermag mit grösster Sicherheit zu beurtheilen, ob beim Umdrehen der Schraube, durch welche diese Bewegung zu Stande kommt, das Bild an Schärfe gewinnt oder verliert. Diese Modification ist scheinbar sehr unbedeutend; das ist sie aber in praktischer Beziehung nicht und sie verdient gewiss Nachahmung.

Ferner gehört hierher der Versuch Brooke's (*Quart. Journ.* April 1853. *Transact.* p. 83), zwei ungleich vergrössernde Objective dergestalt zu vereinigen, dass nach einander das eine und das andere unter das Mikroskoprohr kommt, ohne dass man doch das eine abzuschrauben braucht, um das andere an seine Stelle zu bringen. Zu dem Ende ist unten am Mikroskoprohre ein Arm angeschraubt, der nach vorn sieht und einen Stift trägt, um welchen sich ein Stab herumdreht. An beiden Enden dieses Stabes sind Objective angeschraubt, und durch Umdrehen desselben kann jedes der Objective unter das Mikroskoprohr kommen, während das andere Objectiv weit genug vom Ojecttische entfernt bleibt, dass es nicht hinderlich ist. Brooke hat auf diese Weise zwei Objective am Mikroskope angebracht, das eine von 1 Zoll Brennweite zum allgemeinen Ueberblicke, das andere von $^1/_4$ Zoll Brennweite zur genauern Untersuchung.

Der Gedanke, zwei oder selbst mehr Linsensysteme zusammenzubringen, die sich um eine Axe drehen, ist zwar nicht neu, da man ihm schon vor mehr denn zwei Jahrhunderten bei Kircher begegnet (S. 601); die Sache verdient aber auch noch aus einem andern Grunde Empfehlung, der Brooke entgangen zu sein scheint. Dem Mikroskope fehlt es nämlich noch an einem Sucher, wie ihn das Fernrohr besitzt, und diesem Mangel scheint wirklich durch die Einrichtung Brooke's abgeholfen werden zu können, wenn man dabei Sorge trägt, dass die Unterflächen der beiden Objective sich genau in der entsprechenden Entfernung vom Objecttische befinden, die ihren verschiedenen Brennweiten entsprechend ist, wo man dann durch das eine wie durch das andere Objectiv die

Objecte scharf sieht, ohne dass vorher eine Stellveränderung nöthig wäre. Bei solcher Einrichtung würde der kleine Apparat wirklich zeitsparend sein. Es liesse sich aber auch so machen, dass das eine Objectiv, das stärkere nämlich, durch andere noch stärkere ersetzt werden kann, denen allen das schwächste Objectiv alsdann als Sucher dient. Die einzige Schwierigkeit liegt darin, dass die mechanische Ausführung eine höchst sorgfältige sein muss, damit das Objectiv beim Umdrehen der Stange immer genau in die optische Axe des Instruments kommt und auch alles fremde Licht abgeschlossen bleibt. Natürlicher Weise wird der Preis des Instruments dadurch erhöht, und beim vielfachen Gebrauche tritt auch leicht eine Abnutzung ein.

Die Art und Weise, wie die Objectivsysteme durch Schraubenverbindung mit dem Mikroskopkörper vereinigt werden, hat die *Microscopical Society* beschäftigt; dieselbe beauftragte eine Commission, bestehend aus den Herren Jackson, Brooke und Perigal, bestimmte Vorschriften dafür aufzustellen, und diese Commission brachte am 11. November 1857 ihren Bericht (*Quart. Journ.* 1857. XXII. *Transact.* p. 39). Der Hauptzweck einer Aufstellung solcher Vorschriften ging dahin, dass künftighin Objective aus verschiedenen Werkstätten an die Mikroskope der verschiedenen Optiker angesetzt werden könnten. Für England ist dieser Zweck guten Theils erreicht, da die drei Hauptfirmen Londons (Ross, Powell, Smith) sich bereit erklärt haben, das vorgeschlagene Modell anzunehmen. Indessen ist es nicht gerade wahrscheinlich, dass die Optiker des Continents sich auch allgemein dem anschliessen werden.

Ich hätte nur wünschen mögen, es wäre bei dieser Gelegenheit statt der Schraubenverbindung die Bajonetverbindung gewählt worden, die den doppelten Vorzug hat, dass die Objective dabei rascher gewechselt werden können und dass die Centrirung eine zuverlässigere ist.

439 In Nordamerika fing Charles A. Spencer vor mehreren Jahren an, Objective zu verfertigen. Die ersten Nachrichten darüber gaben Gilman und Bailey (*American Journ. of Sc. and Arts.* 1848, March, Nr. 14, p. 237 u. 297, und 1849, March, p. 265). Spencer machte bald grosse Fortschritte, so dass nach dem Zeugnisse seiner Landsleute seine Objective den besten englischen fast den Rang abliefen, jene von Chevalier, von Plössl, von Oberhäuser aber übertreffen. Sein Mikroskopgestell hat viel Aehnlichkeit mit dem Chevalier'schen; seine Objective haben $^1/_3$, $^1/_7$ und $^1/_{12}$ engl. Zoll (8,2 3,6 und 2,1 Millimeter) Brennweite.

Die namentlich von Bailey hochgerühmte Vortrefflichkeit der Spencer'schen Objective rief eine Art Wettstreit mit den in England gefertigten Mikroskopen hervor, woselbst namentlich Marshall und Warren de la Rue daran Theil nahmen (*American Journal* 1851. p. 82). Zu einem bestimmten Entscheid konnte man aber nicht kommen, da man über die Abstände der Striche auf den als Probeobjecte benutzten Diatomeenschalen (*Navicula Spenceri* und *Grammatophora subtilissima*) sich nicht

vereinigen konnte, zum sprechenden Beweise dafür, wie unzuverlässig die der Natur entnommenen Probeobjecte sind, wenn man die relative Tüchtigkeit verschiedener Mikroskope feststellen will, oder wenn zwei von einander entfernt wohnende Beobachter nach einander dasselbe Object unter möglichst gleichen Umständen untersuchen. Diese Erfahrung wurde aber auch hauptsächlich Veranlassung, dass man die verschiedenen Arten von Indicatoren ersann, von denen später die Rede sein wird.

Im Jahre 1851 hatte Burnett (*American Journ.* 1851, Nr. 12, p. 56) auf einer Reise nach Europa Gelegenheit, Spencer's Objectivsysteme mit denen von Ross, von Powell u. Lealand, von Nachet zu vergleichen; für die besten erklärt er die von Ross und von Spencer, ohne aber zu entscheiden, welcher von diesen beiden höher steht.

Im Jahre 1852 gelang es Spencer, ein Objectivsystem mit $^1/_{12}$ engl. Zoll Brennweite und einem Oeffnungswinkel von $174^1/_2{}^0$ herzustellen, wie ein Brief von A. S. Johnson (*American Journ.* 1852, p. 31) angiebt. Dasselbe würde für diese Brennweite unübertroffen dastehen, denn das oben (S. 759) erwähnte Objectiv von Powell u. Lealand mit 175^0 Oeffnung hat nur $^1/_{16}$ engl. Zoll Brennweite.

Ausser Spencer besitzt aber Nordamerika auch noch andere Mikroskopverfertiger. Als solche werden genannt Wm. Buffhum and Son in Milburne, Lake Co Illinois, J. and W. Grunow in Newhaven (*American Journ.* 1855, July, p. 143). Von ihren Instrumenten ist mir nichts Näheres bekannt; nur wurden die der letztgenannten Firma neuerdings sehr gerühmt (*American Journ.* 1857, Nov., p. 448).

Als eine Modification der mechanischen Einrichtung des Mikroskops ist hier auch noch der Vorschlag des nordamerikanischen Professors Riddell (*Quart. Journ.* July 1853, Nr. IV, p. 305) anzuführen, die feine Einstellung durch ein Pumpwerk zu erzielen, indem man in eine Kautschukröhre mit elfenbeinernem Mundstücke, das in den Mund kommt, athmet. Der Hauptvortheil dabei ist, dass alsdann beide Hände zur Bewegung des Objects frei bleiben, was bei Zergliederungen unterm Mikroskope wichtig ist. Riddell hat sein Verfahren daher auch zunächst für das einfache, zu Sectionen benutzte Mikroskop in Anwendung gebracht. Eine nähere Beschreibung der Einrichtung seines Apparats hat Riddell nicht gegeben, er rühmt aber gar sehr dessen Brauchbarkeit. Jedenfalls ist es eine gute Idee, die näher geprüft zu werden verdient.

Weiterhin werden wir auch den Erfinder einer neuen und bessern Form des binoculären Mikroskops in Riddell kennen lernen.

In der vorhergehenden Uebersicht der Verbesserungen des zusammengesetzten Mikroskops in neuerer Zeit habe ich absichtlich jene übergangen, welche auf die Umkehrung des Bildes Bezug haben. Diese sollen daher hier noch zusammengestellt werden. 440

Das Theoretische über diesen Gegenstand ist bereits oben (§. 195 ff.)

angegeben worden. Wenn aber dort die Umkehrung durchs Ocular zuletzt genannt wurde, so ist sie hier voranzustellen, da sie der Zeit nach den übrigen Methoden vorausgegangen ist.

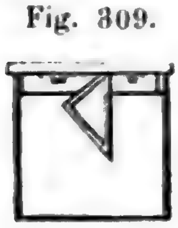
Schon kurze Zeit nach der Entdeckung des Fernrohrs, nämlich 1611, wies Keppler (*Dioptrice*, Probl. 99) nach, wie man drei concave Linsen zu stellen hat, wenn man die Objecte in ihrer natürlichen Richtung sehen will, und Rheita wandte dieses Princip 1645 wirklich auf das Fernrohr an.

Beim zusammengesetzten Mikroskope indessen, wo die kleinen biconvexen Objectivlinsen ein weit weniger scharfes Bild geben, musste diese Verbesserung weit schwieriger zu erzielen sein. Bei älteren Miokroskopen scheint man auch nicht einmal den Versuch dazu gemacht zu haben. Nachdem aber das Objectiv aplanatisch gemacht worden war und das dadurch entstehende Bild weit schärfer und heller hervortrat, lag der Gedanke sehr nahe, die letzte Unvollkommenheit, die dem zusammengesetzten Mikroskope noch anklebte und wodurch es dem einfachen Mikroskope nachstand, die Umkehrung der betrachteten Gegenstände nämlich, zu beseitigen, und es war ganz natürlich, dass man zunächst zu jenem Mittel griff, dessen man sich schon seit einer Reihe von Jahren beim Fernrohre bedient hatte.

Eine Vermehrung der Oculargläser zum Zwecke der Bildumkehrung brachte Lister zuerst in dem Mikroskope zur Anwendung, welches Smith im Jahre 1826 nach seiner Anweisung verfertigte und wobei achromatische Linsen von Tulley benutzt wurden (Quekett l. l. p. 110). Die späteren englischen Mikroskopverfertiger haben dies allgemein angenommen, und auf Verlangen geben sie ein solches umkehrendes Glas (*erecting glass*) zu ihren Instrumenten; im Preiscourant von Smith u. Beck ist es z. B. mit 1 Pfund verzeichnet. Meistens ist dann auch ein inneres Rohr da, welches sich ausziehen lässt, an dessen Unterende der Umkehrungsapparat geschraubt wird, nämlich eine kurze Röhre mit zwei planconvexen Linsen, deren convexe Seite aufwärts gerichtet ist. So ist er schon 1830 am Mikroskope von Pritchard und Goring angebracht.

Erst längere Zeit, nachdem dieses Mittel in England in Gebrauch gekommen war, dachte man auch anderwärts an die Erreichung dieses Zweckes, indessen auf andere Weise. Chevalier, der, wie wir sahen, Amici's horizontales Mikroskop nachmachte, musste bald wahrnehmen, dass durch das darin enthaltene rechtwinkelige Prisma die Bilder eine halbe Umkehrung erfahren. Es war nun klar, dass eine zweite halbe Umkehrung durch ein zweites rechtwinkelig zum ersten stehendes Prisma eine vollständige Umkehrung zur Folge haben musste. Er führte das auf die in Fig. 309 dargestellte Weise aus, indem er ein rechtwinkeliges gläsernes Prisma in der hier verzeichneten Richtung in einem Röhrchen vor das Ocular brachte.

Fig. 309.

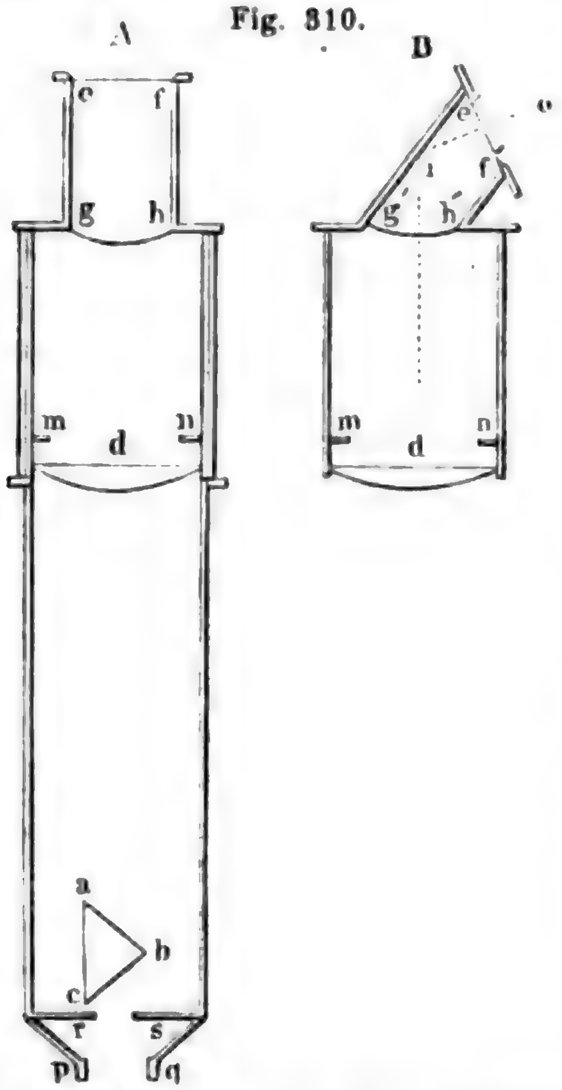


Chevalier's bildumkehrendes Prisma.

Das nämliche Princip der doppelten totalen Reflexion ist auch beim umkehrenden Mikroskope Nachet's festgehalten, welches dieser zuerst im Jahre 1843 verfertigte (*Comptes rendus*, 1843. XVII, p. 917). Vor dem Chevalier'schen hat es den grossen Vorzug, dass das Mikroskoprohr vertical steht, so dass die Hände, wenn Zergliederungen darunter vorgenommen werden, viel freier sind. Auch ist die Unterfläche des obern Prisma convex geschliffen, so dass dasselbe zugleich als Linse wirkt und das Gesichtsfeld grösser macht.

Das Rohr dieses bildumkehrenden Mikroskops ist in Fig. 310 im Durchschnitte dargestellt, und zwar bei *A* das ganze Mikroskoprohr, bei *B* das Ocular allein für eine Stellung, die von jener bei *A* um 90° differirt. Die erste halbe Umkehrung erfolgt durch das Prisma *abc*, welches unmittelbar über dem Diaphragma *rs* in der Nähe des Objectivs angebracht ist. Bei *d* befindet sich ein gewöhnliches planconvexes Collectivglas und bei *mn* ein Diaphragma. Das zweite Prisma, welches durch seine convexe Unterfläche auch als Ocular wirkt, befindet sich bei *A* in *efgh*, bei *B* in *e'f'g'h'*. Aus der Abbildung ersieht man deutlich, dass ein in *o* befindliches Auge, welches unter einem Winkel von etwa 45° auf die gerade Fläche *e'f'* des Prisma sieht, die Bilder der Objecte, die sich unter dem Mikroskope befinden, in ihrer wahren Richtung nach dem Verlaufe der Linie *oi* sehen wird. Die Theorie dieser Umkehrung ist oben (§. 177 und 195 ff.) nachzusehen.

Fig. 310.



Durchschnitt von Nachet's bildumkehrenden Rohre.

Es gehören zu diesem Mikroskope vier achromatische Doppellinsen, die einzeln für sich, oder zu einem Systeme von zwei, drei oder vier Linsen vereinigt, unten an den kegelförmigen Theil des Rohrs bei *pq* angeschraubt werden. Bei dem von mir untersuchten Instrumente fand ich:

Objectiv.	Vergrösserung.	Abstand der Unterfläche des Objectivs vom Objecte.
Eine Doppellinse	20	48mm
Zwei Doppellinsen	50	17
Drei Doppellinsen	92	8
Vier Doppellinsen	104	5

Bei einer Projection von 25 Centimeter beträgt der Durchmesser des Gesichtsfeldes 165 Millimeter; man kann daher bei den genannten Vergrösserungen noch 8,2, 3,3, 1,8 und 1,6 Millimeter des Objects übersehen.

Helligkeit und Lichtstärke sind selbst bei der stärksten Vergrösserung und bei auffallendem Lichte noch immer ausreichend, so dass man bei gewöhnlichem Tageslicht und ohne Anwendung concentrirender Linsen arbeiten kann. Nachet hat sein Instrument nur dazu eingerichtet, und durch Weglassung des Spiegels kann er demselben eine geringere Höhe geben, die nicht mehr als 20,5 bis 25 Centimeter über dem Objecte, und 25,5 bis 29 Centimeter über dem Tische beträgt, d. h. also eine solche Höhe, bei welcher die meisten Personen bequem im Sitzen arbeiten können. Das ganze Mikroskop (Fig. 311) ist übrigens sehr einfach zusammengesetzt. Es hat einen kurzen, aber schweren cylindrischen Stamm *b* mit einem festen Querarme *k*, woran ein kurzes Rohr *r* befestigt ist; in diesem befindet sich ein zweites Rohr *m*, welches im erstern durch einen Trieb mit dem geränderten Knopfe *n* auf- und niederbewegt werden kann. In das innere Rohr wird dann die oben beschriebene Mikroskopröhre *i* geschoben. Als Fussstück für den Stamm benutzt Nachet entweder eine schwere, länglich viereckige Messingplatte, oder einen Dreifuss aus drei gleichen Klauen *ggg*, an deren Vereinigung der Stamm befindlich ist, der sich darauf um eine Axe drehen kann.

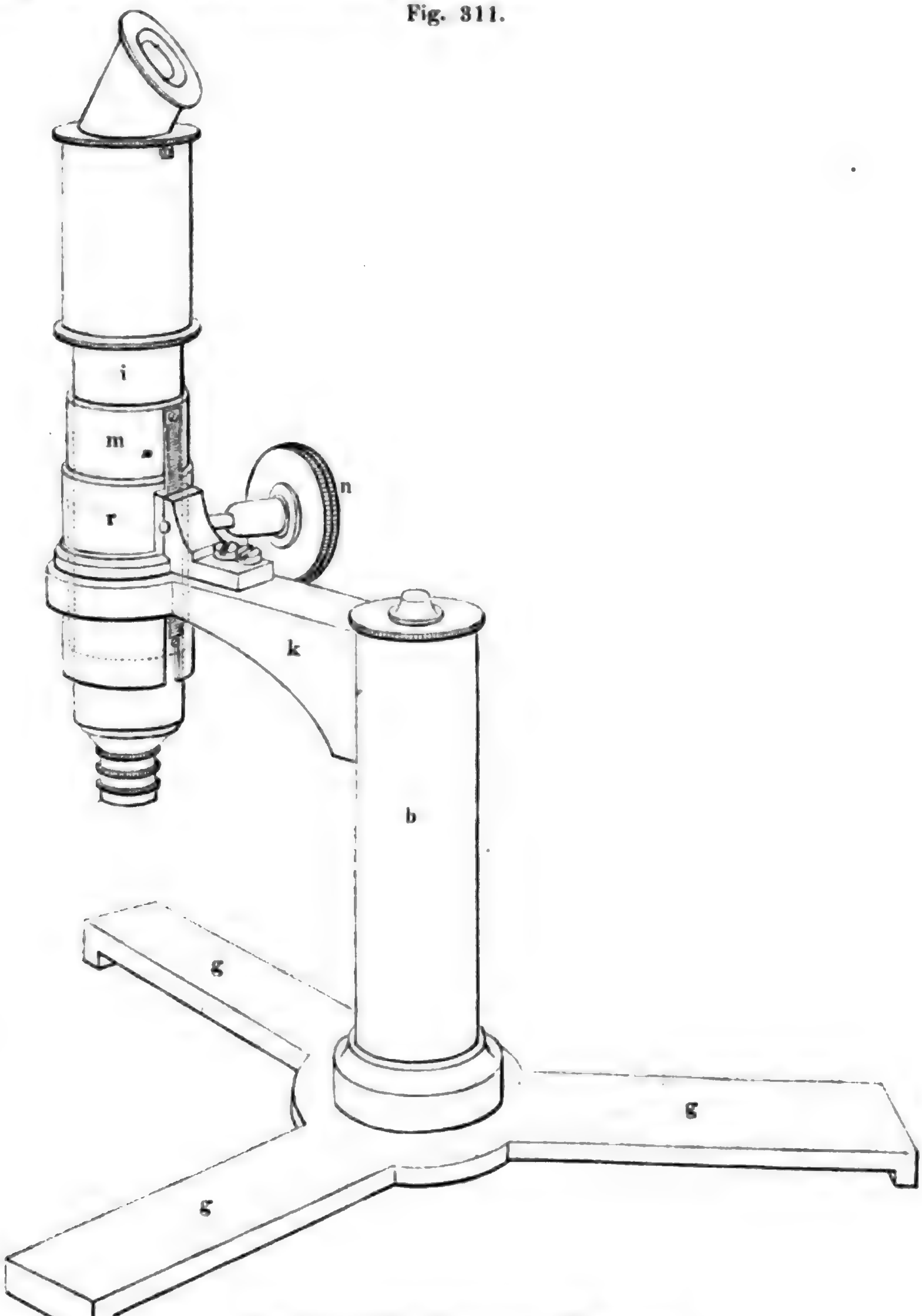
In der letzten Zeit indessen scheint Nachet diese Art von Mikroskopen nicht mehr verfertigt zu haben; wenigstens in seinem Kataloge vom Jahre 1856 kommen sie nicht mehr vor. Und gewiss ist es auch vorzuziehn, wenn man beim gewöhnlichen zusammengesetzten Mikroskope einen bildumkehrenden Apparat mit benutzt, der nach Belieben aufgesetzt oder weggenommen werden kann, jenachdem man das Mikroskop zu Zergliederungen oder zu gewöhnlichen Beobachtungen benutzen will.

Im Jahre 1848 habe ich in diesem Buche unter den Mitteln, wodurch das zusammengesetzte Mikroskop ein bildumkehrendes werden kann, auch zwei rechtwinkelige Prismen genannt, die so über einander gestellt werden, dass die Hypotenusenflächen mit der Axe des Mikroskops parallel sind, und die Reflexionsfläche des einen Prisma auf jener des andern Prisma senkrecht steht. Dadurch werden zwei halbe Umkehrungen herbeigeführt, und somit befindet sich schliesslich das Bild wiederum ganz in der nämlichen Richtung wie das Object. Damals sprach ich nur die Besorgniss aus, es dürfte eine solche Combination wegen des schiefen Einfalls der Strahlen zu wenig Licht durchlassen. Diese Besorgniss hat sich indessen späterhin als grundlos erwiesen; Dove (Poggend. Annal. Bd. 83, S. 189) hat beim terrestrischen Oculare für Fernrohre mit Erfolg Gebrauch davon gemacht.

Eine derartige Combination ist somit auch für Mikroskope anwend-

bar; nur ist es vorzuziehn, wenn man über das rechtwinkelige Prisma ein Prisma von solcher Form bringt, dass aus diesem die Strahlen unter einem Winkel von 30° bis 40° zur Mikroskopaxe heraustreten. Die Haltung des Kopfes ist dann eine bequemere.

Fig. 311.



Nachet's bildumkehrendes Mikroskop.

Besser noch als eine Verbindung zweier solcher Prismen eignet sich ein einzelnes Prisma, in dessen Innerem durch wiederholte Reflexion die nämliche Umkehrung zu Stande kommt. Ein solches Prisma verdanken

wir Amici. Ein von Nachet verfertigtes ist in Fig. 312 so dargestellt, dass man es in etwas schiefer Richtung von der einen Seite und von oben sieht. Die punktirten Linien bezeichnen die nicht sichtbaren Kanten. Die unterste Fläche *baikf* lässt die aus dem Oculare kommenden Strahlen hindurch. Die Flächen *abcd* und *efbc* sind die reflectirenden. So werden die Strahlen von rechts nach links und umgekehrt von links nach rechts geworfen, und dadurch kommt eine vollständige Umkehrung des Bildes zu Stande. Durch die oberste Fläche *ceghd* treten die also reflectirten Strahlen wieder heraus und fallen in das Auge des Beobachters. Die übrigen Flächen *aihd*, *ghik* und *egkf* sind ohne Einfluss auf die optische Wirkung des Prisma, das nur so weit abgeschliffen ist, um es nicht ohne Noth grösser zu haben. Die obere Fläche *ceghd* und die untere Fläche *baikf* treffen unter einem Winkel von 58° aufeinander; die Flächen *abcd* und *efbc* vereinigen sich unter einem Winkel von $81^1/_2$°.

Fig. 312.



Bildumkehrendes Prisma nach Nachet.

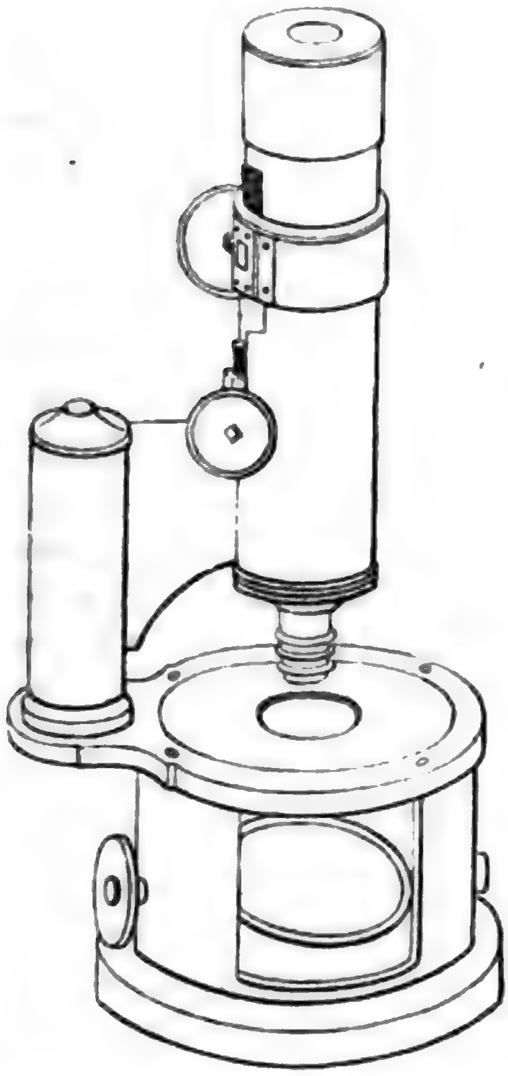
Dieses Prisma ist in ein Kästchen eingeschlossen, welches unten einen Ring hat, der auf das Ocular passt. Nachet liefert diesen Apparat einzeln um 25 Francs.

Ein drittes Mittel zur Bildumkehrung ist dieses, dass man statt Eines Objectivs zwei Objective nimmt und diese in solche Entfernung von einander bringt, dass jenes Bild, welches vom untern erzeugt wird, durch das obere sich vergrössert darstellt. Diese Methode, verbunden mit einer innerhalb gewisser Grenzen verharrenden Veränderung im wechselseitigen Abstande beider Objective, ist es, die man in der letzten Zeit vorzugsweise auf dem Continente in Anwendung gezogen hat

Die erste Idee dazu ist von Strauss-Durckheim (*Traité pratique et théorique d'Anatomie comparée.* I, p. 81) ausgegangen. Er theilte seine Ansicht Trécourt und Oberhäuser mit, und im Jahre 1839 legte letzterer der französischen Akademie ein nach diesem Principe verfertigtes sogenanntes *Microscope à dissection* vor (*Comptes rendus.* 1839. IX, p. 322). Bei diesem Mikroskope liessen sich die beiden Objective durch einen Trieb weiter von einander entfernen oder einander mehr nähern. Die Vergrösserung konnte von 0 bis zu 500 gehen. Bei der stärksten Vergrösserung blieb das untere Objectiv immer noch 4 Millimeter vom Objecte entfernt. Bei einer 150maligen Vergrösserung blieb noch ein Object von 0,2^mm Durchmesser im Gesichtsfelde, und bei einer 2maligen Vergrösserung ein solches von 40^mm Durchmesser. Dieses Oberhäuser'sche Dissectionsmikroskop (Fig. 313) hat ganz das nämliche Gestell, wie seine grossen Mikroskope ältern Modells. Nur schiebt sich in dem äussern Rohre ein inneres auf und nieder mittelst eines Triebes, wodurch die Veränderung im Abstande der beiden Objective und somit auch die veränderliche Vergrösserung zu Stande kommt.

Betrachten wir diese Einrichtung näher, so sehen wir, dass der Gang der Strahlen im Körper des Mikroskops eigentlich nicht anders ist, als bei den viele Jahre früher in England gebräuchlichen Instrumenten. Die Verbesserung von Trécourt und Oberhäuser lag aber darin, dass sie als bildumkehrendes Glas ebenfalls eine achromatische Linse benutzten, die ausserdem auch einen kürzern Focus hatte. Dadurch nahm zuvörderst die Deutlichkeit und Schärfe des Bildes zu und es wurde zweitens auch möglich, eine grössere Breite der möglichen Vergrösserungen zu erzielen.

Fig. 813.



Bildumkehrendes oder pankratisches Mikroskop von Oberhäuser.

Ihr Beispiel fand auch bald Nachahmung. Im Jahre 1841 beschrieb Fischer von Waldheim (*Le microscope pancratique.* Moscou. 1841) ein von Chevalier verfertigtes Instrument unter dem Namen eines *Microscope pancratique*, dessen Einrichtung durchaus auf dem nämlichen Principe ruht. Wir hören ferner aus dem Jahre 1843 von Plössl (Versammlung d. D. Naturf. in Gratz, Sitzung vom 20. September), dass derselbe ein zusammengesetztes bildumkehrendes Mikroskop verfertigt hatte, zu dessen Verbesserung Dr. Fenzl beigetragen haben sollte. Nach Mohl (Mikrographie S. 225) besitzt dieses bildumkehrende Mikroskop von Plössl das gewöhnliche Ocular des Fernrohrs für irdische Objecte und in der Schärfe des Bildes soll es den Vorzug vor Oberhäuser haben. Wirklich sind auch die früheren Dissectionsmikroskope des letztern in dieser Beziehung sehr unvollkommen, wie ich mich durch die Untersuchung eines solchen vom Jahre 1841 überzeugt habe. Daran ist meines Erachtens Schuld, dass Oberhäuser zu starke Objective nahm; das verschaffte zwar eine grössere Breite im vergrössernden Vermögen, aber nur auf Kosten einer guten Verbesserung der Aberrationen. Er hat dies späterhin auch selbst eingesehen: bei einem Instrumente aus dem Jahre 1846, worüber Mohl einen günstigen Bericht giebt, ist die schwächste Vergrösserung nur eine 6fache bei 70 Millimeter Abstand vom Objecte und einem Gesichtsfelde von 15,4 Millimeter Durchmesser, und die stärkste Vergrösserung geht nur bis 68 bei 14 Millimeter Abstand vom Objecte, wovon dann nur noch gut 1 Millimeter übersehen werden kann. Bei diesem Instrumente ist Oberhäuser auch von seiner frühern Ein-

richtung abgewichen und er hat ein Ocular für irdische Objecte genommen. Davon rührt wahrscheinlich die grosse Länge des Rohrs her: bei 6facher Vergrösserung steht das Ocular 23,6 Centimeter über dem Tische, bei 36facher 25 Centimeter, bei 68facher 32,5 Centimeter.

Soll ich nun hier mein Urtheil abgeben über die verschiedenen jetzt gebräuchlichen Mittel zur Bildumkehrung im zusammengesetzten Mikroskope, so würde dies darauf hinauslaufen, dass zwei von den befolgten Methoden, nämlich die Benutzung reflectirender Prismen und das Einschieben eines zweiten achromatischen Objectivs in die Bahn der Strahlen recht gute Resultate geben, wovon ich mich durch bestimmte Vergleichung also eingerichteter Instrumente überzeugt habe. Verlegt man die Umkehrung ins Ocular, dann sind die Bilder nicht so bestimmt; indessen in den meisten Fällen, wo es blos auf Zergliederung ankommt, kann man damit auskommen.

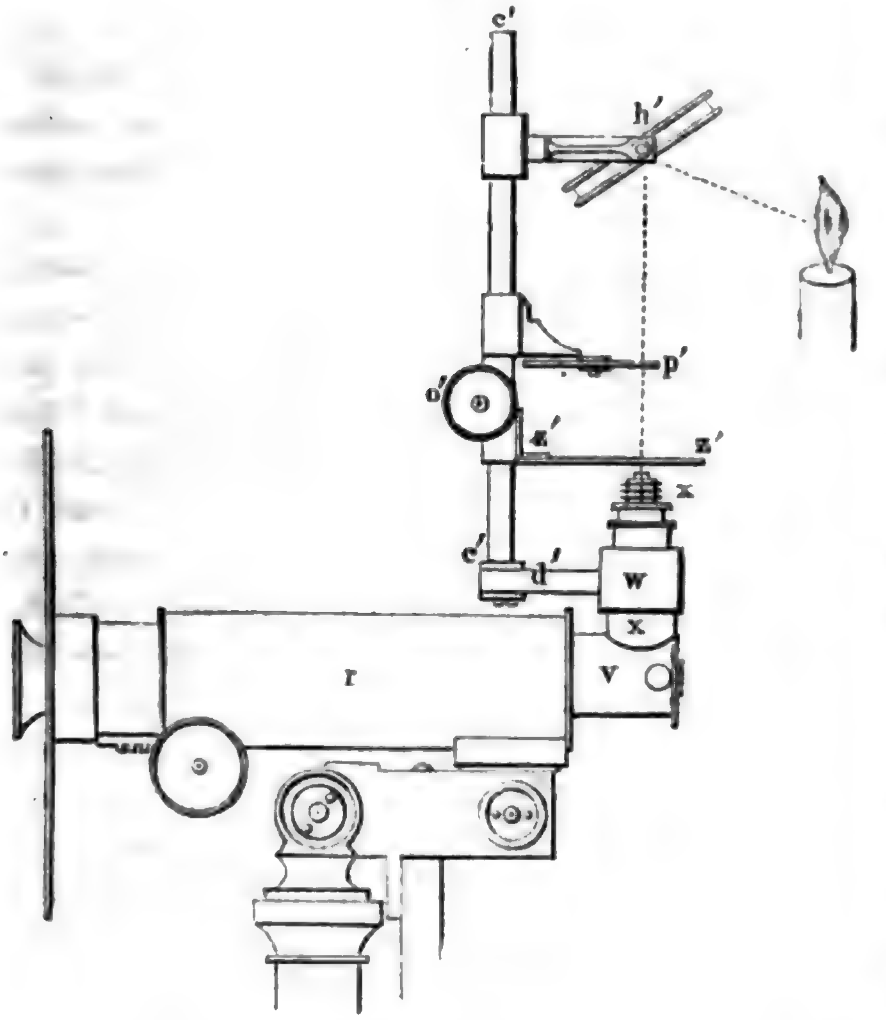
Wie man aber auch die Bildumkehrung zu Stande bringen mag, ich kann nur wiederholen, dass besonders hierzu eingerichtete Dissectionsmikroskope überflüssig sind. Dagegen erachte ich es für wünschenswerth, die zusammengesetzten Mikroskope fortan so einzurichten, dass sie der Beobachter, wenn er will, vorübergehend zu bildumkehrenden machen kann. In England ist dies allgemein gebräuchlich. Die in den letzten Jahren auf dem Continente von Oberhäuser, Nachet und Anderen gebotenen Mittel verdienen aber unzweifelhaft den Vorzug vor dem nichtachromatischen *erecting glass*. Nachet's Prismen sind zwar recht gut angebracht, eignen sich aber doch nicht recht zur vorübergehenden Bildumkehrung, weil ihre Wegnahme etwas mühsam ist, und sie auch theurer sind als ein Objectivsystem von grosser Brennweite, wie es hier verlangt wird; ebenso stehen sie aber auch dem oben erwähnten Amici'schen Prisma nach, welches nur durch einen Ring oben am Oculare befestigt zu werden braucht, um jedes Mikroskop sogleich in ein bildumkehrendes umzuwandeln. Letzteres hat jedoch den Nachtheil, dass das Gesichtsfeld dadurch sehr verkleinert wird, wenn man nicht das Auge etwas verrückt, um nach einander das ganze Gesichtsfeld zu übersehen. In dieser Hinsicht ist es besser, wenn man ein achromatisches Linsensystem in die Bahn der Strahlen bringt; nur muss das Mikroskop so eingerichtet sein, dass dieses System an das untere Ende eines innern Rohrs, welches in einem weitern Rohre sich auf- und niederbewegt, angesetzt und mit Leichtigkeit wieder weggenommen werden kann. Diese Einrichtung habe ich bei zweien meiner Mikroskope, die im täglichen Gebrauche sind. Auf meine Veranlassung fügt Nachet jetzt seinen Mikroskopen auch ein hierzu bestimmtes System bei, wenn es verlangt wird.

Natürlich ist dies aber nur bei solchen Mikroskopen mit einigem Vortheil anzubringen, die nicht zu hoch sind. Deshalb geht es nicht bei den grossen Mikroskopen von Plössl, Schiek, Ross, Powell u. s. w., weil es zur Vornahme von Zergliederungen auf dem Objecttische durch-

aus nöthig ist, dass man sitzend arbeite, was aber wohl den meisten schwer fällt, wenn die Höhe des ganzen Instruments vom Ocular bis zum Tische über 30 Centimeter beträgt.

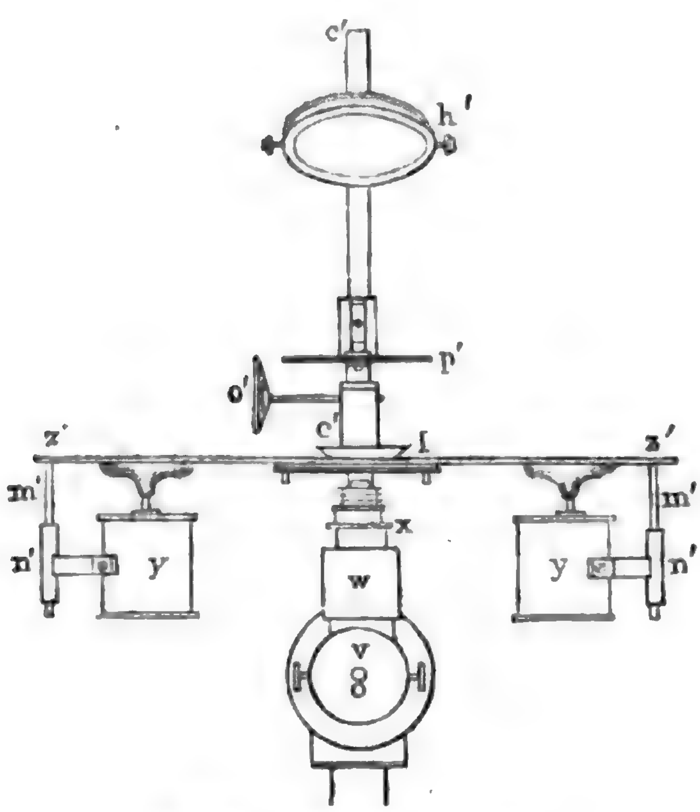
Fig. 314.

A.



Chevalier's mikrochemischer Apparat in der Seitenansicht.

B.



Derselbe von vorn gesehen.

Es ist hier auch der Ort, einer modificirten Einrichtung des zusammengesetzten Mikroskops zu erwähnen, die für manche Untersuchungen sehr erspriesslich sein kann, nämlich der Aufwärtskehrung des Objectivs. Ein solches umgekehrtes Mikroskop (*Microscopium inversum*), wie man es nennen könnte, und zwar ausdrücklich zu mikrochemischen Untersuchungen bestimmt, wurde zuerst schon vor vielen Jahren von Chevalier angefertigt. Die Einrichtung wurde mit Chevalier's horizontalem Mikroskope (s. Fig. 286) in Verbindung gesetzt, woran die Röhre *v*, welche das reflectirende Prisma enthält, zugleich mit dem Objective *x* umgedreht werden kann, so dass das letztere nun nach oben sieht. Die weitere Einrichtung erhellt aus Fig. 314, wo die Buchstaben in *A* und *B* die nämlichen Theile bezeichnen. Auf das Objectivrohr *x* passt der Ring *w*, der durch den Querarm *d'* 441

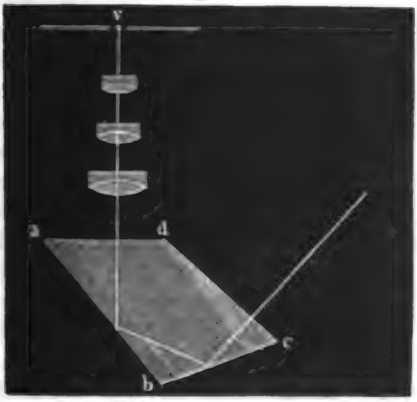
mit der vierseitigen Stange $c'c'$ in Verbindung steht. An dieser Stange bewegt sich durch einen mit dem Knopfe o' versehenen Trieb der länglich vierseitige Objecttisch $z'z'$. Einander gegenüber sind am Objecttische die beiden kleinen Weingeistlampen yy befestigt, indem sie durch die Hülsen $n'n'$ um die runden Stifte $m'm'$ sich drehen. Die Mitte des Objecttisches hat eine runde Oeffnung für das Uhrglas l, in welches eine erwärmte Flüssigkeit kommen kann. Die Beleuchtung findet durch den Spiegel h' und das drehbare Diaphragma p' statt.

Dieses chemische Mikroskop Chevalier's ist aber niemals recht in Gebrauch gekommen, hauptsächlich wohl wegen der grossen Entfernung des Objecttisches vom Oculare, wodurch es in der That schwer fällt, gleichzeitig durchs Mikroskop zu sehen und das höher liegende Object mit den nicht unterstützten Armen zu bewegen. Der amerikanische Professor Lawrence Smith (*American Journ.* 1852. XIV, p. 232) hat nun aber dieses Mikroskop durch Nachet dergestalt umändern lassen, dass zwar die zu Grunde liegende wesentliche Idee nicht aufgegeben, das Instrument aber praktisch weit brauchbarer wurde. Die hauptsächlichste Veränderung besteht in der veränderten Form des Prisma, wie sie Fig. 315 dargestellt ist. In diesem Prisma findet eine doppelte Reflexion statt, wodurch die Strahlen in eine Richtung kommen, bei welcher der Kopf die bequemste Stellung haben kann, und wobei auch die Hände, ganz so wie beim gewöhnlichen Mikroskope, zur Behandlung der Objecte auf dem Objecttische benutzt werden können. Smith hat folgende Winkel an sein Prisma schleifen lassen: $a = 55^0$, $b = 107\frac{1}{2}^0$, $c = 52\frac{1}{2}^0$, $d = 145^0$. Die Axe des reflectirten Strahlenbündels bildet dann einen Winkel von 35^0 mit der Senkrechten. Es versteht sich aber von selbst, dass dieser Winkel etwas grösser oder kleiner ausfallen kann, wenn man dem Prisma eine etwas andere Gestalt giebt.

Das Mikroskop, wie es Nachet hergestellt hat, ist in Fig. 316 dargestellt. Das Kästchen ab, worin das Prisma enthalten ist, hat seine Befestigung auf einem Schlitten, der sich zwischen zwei Leisten hin- und herbewegt, so zwar, dass beim Ziehen am Knopfe c das Kästchen mit dem darauf befestigten Objectivrohre nach vorn und zur Seite des Objecttisches zu stehen kommt, worauf dann das Objectiv, welches bei d aufgeschraubt wird, ohne Mühe mit einem andern vertauscht werden kann. Zur gröbern Einstellung dient das Röhrchen e; dasselbe trägt das Objectiv und lässt sich auf einem andern im Innern befindlichen Röhrchen auf- und niederschieben. Die feinere Einstellung erfolgt durch das Umdrehen einer Schraube mittelst des gerieften Randes bei f. Der Objecttisch, welcher durch einen festen kurzen Stamm mit dem runden Fussstücke fest und unbeweglich verbunden ist, hat eine runde Gestalt und ist unbeweglich. Auf diesen Tisch kann eine zweite freiliegende Platte g kommen, mit einer Oeffnung in der Mitte, über welche ein kurzes Rohr hinausragt, das in die Oeffnung des ersten oder eigentlichen Objecttisches passt. Dieser freie Objecttisch ist länglich vierseitig und

so lang, dass er den Rand des ersten etwas überragt. Man kann so unter den nach aussen überragenden Theil eine kleine Spirituslampe brin-

Fig. 315.



Smith's Prisma zum umgekehrten Mikroskope.

Fig. 316.



Nachets umgekehrtes Mikroskop.

gen, die zum Ganzen gehört und an einer Stange, welche auf einem besondern Fussstücke ruht, höher und niedriger gestellt werden kann. Der Beleuchtungsapparat besteht zuvörderst aus einem nach allen Seiten beweglichen Spiegel *i*, der an der runden Stange *k* auf- und niedergleitet, und zweitens aus einem deckelförmigen mit einer kleinen Oeffnung versehenen Diaphragma *l*, welches von dem Arme *m* getragen wird, der, gleich dem Spiegel, um die runde Stange *k* sich dreht, so dass er höher oder tiefer gestellt, oder auch ganz zur Seite gedreht werden kann.

Dieses Mikroskop mit vier Objectivsystemen, Nr. 0, 1, 3 und 5, einem Ocular, einem beweglichen Glasmikrometer im Oculare und einem sehr einfachen Goniometer, kostet 350 Francs.

Ohne Zweifel ist manchem Jünger der Wissenschaft mit diesem Mikroskope ein wesentlicher Dienst geleistet. Freilich können die meisten mikrochemischen Reactionen auch unter einem gewöhnlichen Mikroskope vorgenommen werden, wenn man nur hinlänglich grosse Deckplättchen nimmt; doch ist es weit sicherer, namentlich wenn verdunstende Säuren im Spiele sind, man benutzt dazu das umgekehrte Mikroskop, weil die Objective dann niemals der Gefahr ausgesetzt sind, angegriffen zu werden. Das umgekehrte Mikroskop bietet aber ausserdem noch einen vielseitigeren Nutzen: der Gebrauch von Deckplättchen wird dabei überflüssig, ausgenommen wenn man diese blos dazu benutzt, das Object flach auszubreiten. Nun giebt es mancherlei Beobachtungen, wo die Verwendung von Deckplättchen, die wenigstens bei etwas stärkeren Vergrösserungen nicht entbehrt werden können, sehr störend ist. Man hat etwa ein anatomisches Object mit Nadeln zerzasert und mit einem Deckplätt-

chen bedeckt unters Mikroskop gebracht, und findet nun, dass die Zerzaserung nicht ausreichend gewesen ist, oder dass in Folge des aufliegenden Deckplättchens jene Theile, die man besonders zu sehen wünscht, von anderen verdeckt werden. In einem solchen Falle ist man genöthigt, das Deckplättchen wieder wegzunehmen, die Theile von Neuem bloss zu legen und dies wohl mehrmals zu wiederholen, bis das Präparat deutlich und klar wird. Dieser Mühe ist man beim umgekehrten Mikroskope überhoben; man kann dann so lange an dem Präparate arbeiten, bis es ganz vorbereitet ist. Man könnte auch an der Stange, welche den Spiegel trägt, eine Lupe anbringen, die an einem kurzen Arme an der Stange sich auf- und niederschieben und auch zur Seite drehen lässt, um sie allenfalls über das Object zu schieben und unter ihr die nöthigen Handgriffe auszuführen.

Aus dem nämlichen Grunde bewährt sich dieses Mikroskop auch nützlich bei Untersuchungen über die Entwickelung vegetabilischer wie animalischer Organismen, wie Süsswasseralgen, Infusorien, Mollusken-eier u. s. w., die nicht gut einen Druck vertragen und wo doch der Luftzutritt nöthig ist. Will man z. B. den einen oder den andern organischen Entwickelungsprocess während einiger Stunden oder selbst Tage verfolgen, so kann man mit etwas geschmolzenem Wachse oder mit einem Gemenge von Wachs und Terpentin ein Glastäfelchen über die Oeffnung des Objecttisches befestigen, und auf dieses, oder noch besser auf ein besonderes Glastäfelchen, oder bei verhältnissmässiger Grösse in einen kleinen Glas- oder Guttaperchatrog den zu untersuchenden Körper mit Wasser bringen. Bedeckt man nun das Ganze mit einem zwei bis drei Centimeter hohen Ringe von Blech oder Messing, schliesst diesen oben hermetisch durch eine gerade Glasplatte, und klebt den etwas breitern untern Rand mit einem Gemenge von Wachs und Terpentin auf den Objecttisch, dann kann die Flüssigkeit nicht verdunsten, zumal wenn die Innenfläche des Ringes vor dem Aufsetzen auf die Glasplatte noch mit Wasser befeuchtet wurde. Um das Anlegen des Wasserdunstes an die gläserne Decke zu verhindern, ist es gut, wenn man diese Glasplatte vorher mit etwas Oel bestreicht.

Für diese Zwecke namentlich habe ich ein solches Instrument, dessen ich mich seit ein paar Jahren bediene, sehr vortheilhaft gefunden und gebe ich ihm vor anderen Mikroskopen den Vorzug.

Gegenüber diesen Vorzügen giebt es aber auch einige Punkte, worin ein solches umgekehrtes Mikroskop einem gewöhnlichen Mikroskope nachsteht. Zuvörderst ist das Prisma, wie vortrefflich es auch geschliffen sein mag, als feststehender Bestandtheil des Mikroskops dennoch zu verwerfen, weil es dessen optischem Vermögen immer einigen Eintrag thut. Zweitens ist es immer viel schwieriger, die Beleuchtung, die bei dieser Einrichtung von oben her stattfindet, zu reguliren, als wenn der Beleuchtungsapparat unter den Objecttisch kommt; dies rührt aber besonders davon her, dass das Object nicht blos durch den Spiegel, sondern

von allen Seiten her Licht empfängt, dass somit die sehr schief auffallenden Strahlen im Objecte gebrochen und reflectirt werden, wodurch das ganze Bild etwas Nebliges und Undeutliches bekommt. Diesem Uebelstande wird durch das oben erwähnte deckelförmige Diaphragma begegnet, und es muss dasselbe deshalb ganz dicht über das Object kommen, damit die von der Seite kommenden Strahlen möglichst ausgeschlossen werden. Bemerken muss ich indessen, dass jene Beleuchtung in manchen Fällen, zumal wenn schief einfallendes Licht erforderlich ist, sehr vortheilhaft wirkt. Sehr schwierige Probeobjecte, an denen die Strichelchen bei schief von unten einfallendem Lichte sehr schwierig wahrzunehmen sind, erkennt man recht deutlich, wenn der Spiegel sowohl als das Diaphragma eine schiefe Stellung bekommen. Als dritter Uebelstand dieser Einrichtung des umgekehrten Mikroskops ist der Umstand anzuführen, dass man, wenn das stärkste Objectiv Nr. 5 genommen wird, das Objectiv nicht auf ein Glastäfelchen von gewöhnlicher Dicke legen darf, sondern nur auf eine Tafel von gleich dünnem Glase, wie es sonst nur zu Deckgläschen genommen wird. Als die grösste Unvollkommenheit dieses Mikroskops sehe ich es aber endlich an, dass es in seinem gegenwärtigen Zustande zur Beobachtung von Objecten bei auffallendem Lichte sich nicht eignet. Möglich ist es indessen, durch passend angebrachte spiegelnde Oberflächen dieser Unvollkommenheit theilweise wenigstens abzuhelfen.

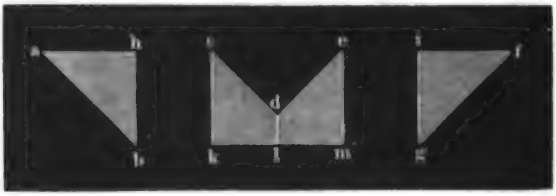
Im nämlichen Jahre 1850, wo Nachet für Lawrence Smith das oben beschriebene Mikroskop verfertigte, kam Dr. Leeson in London, wie es scheint ganz unabhängig von jenem, auf dieselbe Idee, und nach seiner Anweisung verfertigten damals Smith u. Beck ein solches umgekehrtes Mikroskop, das sich vom Nachet'schen nur darin unterscheidet, dass sein Objecttisch sich höher und niedriger stellen lässt. Die erste Nachricht davon veröffentlichte aber erst sechs Jahre später Highley (*Quart. Journ.* July 1856. Nr. XVI, p. 280), der bei dieser Gelegenheit zugleich die Beschreibung und Abbildung eines mineralogischen Mikroskops gab, das in der Hauptsache gleiche Einrichtung hat als das umgekehrte Mikroskop, ausserdem aber einen um zwei Axen beweglichen Objecttisch besitzt mit zwei entsprechenden eingetheilten Kreisen, um die Neigungswinkel von Krystallflächen messen zu können, und im Oculare ein Turmalin- und ein Kalkspathblättchen enthält, damit es statt Kobell's Stauroskop benutzt werden kann; wie denn auch noch andere Apparate für krystallographische Untersuchungen dazu kommen.

Schon weiter oben (§. 421) ist einiger Versuche gedacht worden, die 442
schon in die erste Zeit nach Erfindung des zusammengesetzten Mikroskops fallen, um dasselbe in ein binoculäres umzuwandeln. Der damals eingeschlagene Weg, dass man nämlich zwei einzelne Mikroskope vereinigte, die beide auf das nämliche Object gerichtet waren, schien jedoch nicht zu dem beabsichtigten Ziele führen zu können und man stand des-

halb weiterhin davon ab. In neuerer Zeit sind aber diese Versuche wiederum aufgenommen worden, und im ersten Buche handelt ein besonderes Kapitel (§. 186 u. folg.) über die Theorie der multoculären Mikroskope.

Dem Nordamerikaner Professor Riddell (*American Journ.* 1853. June p. 266) gebührt das Verdienst, zuerst den wahren Weg angegeben zu haben, den man zur Erreichung dieses Zieles einzuschlagen hatte. So, wie es in Fig. 317 dargestellt ist, brachte er vier rechtwinkelige Prismen

Fig. 317.



Riddell's vier Glasprismen.

über das Objectiv und erreichte dadurch eine Spaltung des Strahlenbündels in zwei Bündel, deren jedes durch ein besonderes Ocular aufgefangen werden konnte, so dass man mit beiden Augen zugleich auf das nämliche Object sah.

Sobald ich von diesem neuen Verfahren Kenntniss erhalten hatte, schrieb ich an Nachet und schlug ihm vor, er sollte eine kleine Veränderung im Riddell'schen Apparate vornehmen, nämlich die beiden äusseren Prismen weiter von den mittleren entfernen, um ein Mikroskop hervorzubringen, womit zwei Beobachter auf Einmal das nämliche Object sehen könnten, was mir eine vortheilhaftere Verwerthung des zu Grunde liegenden Princips zu sein schien, als wenn man nur an die Herstellung eines stereoskopischen Mikroskops dächte, von dem ich weit weniger Nutzen erwartete. Ich empfing bald die Antwort von Nachet, dass ihm Riddell's Verfahren ebenfalls bekannt geworden sei und dass er auch sogleich eingesehen habe, es werde sich so ein Mikroskop für zwei Beobachter herstellen lassen; er sei aber Willens, es auf etwas andere Weise zur Ausführung zu bringen. Wirklich brachte Nachet im folgenden Jahre seine binoculären Mikroskope für Einen Beobachter sowohl wie für zwei Personen zu Stande, denen etwas später sein trioculäres Mikroskop nachfolgte. In diesen verschiedenen Instrumenten wurde die Spaltung der Strahlenbündel nicht durch rechtwinkelige, sondern durch gleichseitig dreieckige Prismen zu Stande gebracht.

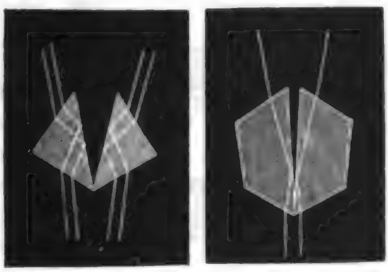
Im nämlichen Jahre, wo Riddell seine Methode ersonnen und veröffentlicht hatte, beschäftigte sich auch Wenham in England mit der Lösung dieser Frage. Er suchte auf dioptrischem Wege zum Ziele zu kommen. Wenham, der zwar nicht Mechanikus von Beruf, aber im Verfertigen optischer Instrumente doch nicht ganz ungeübt war, vereinigte

zwei Kronglasprismen und ein Flintglasprisma mit einander, und erzielte so eine Spaltung der Strahlenbündel durch Brechung in gleicher Weise, wie durch die reflectirenden Prismen. Eine interessante Nachricht über seine Versuche gab er im *Quart. Journ.* 1853. Oct. V. *Transact.* p. 10. Von der optischen Einrichtung dieser Mikroskope war aber schon in dem vorhin angeführten Kapitel im ersten Buche die Rede.

Es versteht sich von selbst, dass das nämliche Princip auch für die einzelne Lupe oder für das einfache Mikroskop in Anwendung kommen kann, und gerade hierzu hat Riddell (*Quart. Journ.* Oct. 1853. Nr. V, p. 18) die Vereinigung der vier rechtwinkeligen Prismen empfohlen. Er hat ein derartiges zu Zergliederungen bestimmtes Instrument zu Stande gebracht mit Linsen von $^1/_2$ Zoll bis zu 3 Zoll Brennweite, mit dem er auch die S. 761 erwähnte Pumpeinrichtung zum feinen Einstellen in Verbindung gesetzt hat.

Riddell hat auch vorgeschlagen, bei Lupen mit ziemlich grossem Focus, wie sie Künstler und Naturforscher brauchen, statt der Prismen kleine Glasspiegel zu benutzen und diese etwa ähnlich wie an Parallellinealen zu befestigen, die Linse aber unterhalb in die Mitte zu bringen, so dass sich der ganze Apparat wie eine Brille auf der Nase tragen liesse. Das zweite Spiegelbild, meint er, werde hier nicht schaden, weil es zu schwach ist.

Fig. 318.



Stellung zweier rechtwinkeliger Prismen behufs der Strahlenbündelspaltung nach Riddell.

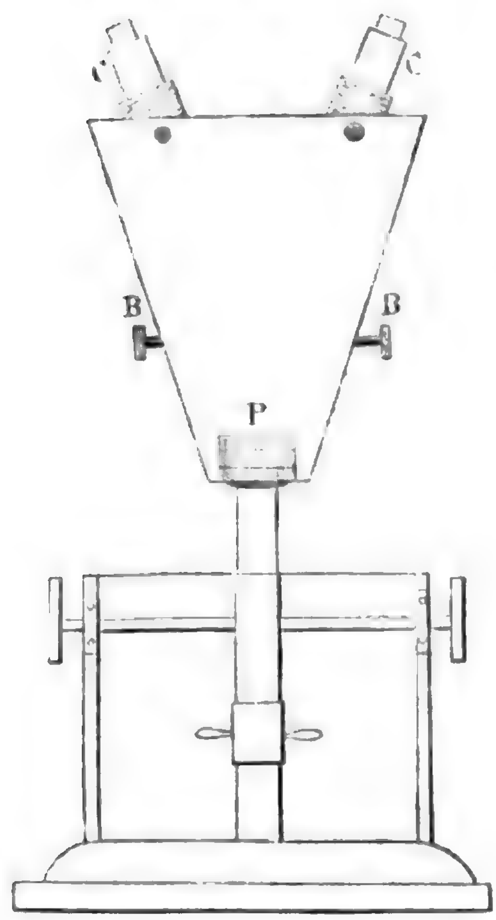
Riddell fand, dass ein zusammengesetztes binoculäres Mikroskop, worin sich die Strahlenbündel durch vier rechtwinckelige Prismen spalten, pseudoskopische Bilder giebt, indem die Vertiefungen erhöht und die Erhöhungen vertieft erscheinen. Er gab deshalb der Einrichtung den Vorzug, dass blos zwei rechtwinkelige Prismen mit spitzen Winkeln von 45^0 genommen und wie in Fig. 318 neben einander gestellt werden, wo dann die Axen der Strahlenbündel, die von den Hypotenusenflächen reflectirt werden, zusammen einen spitzen Winkel bilden. Jenachdem die Prismen, während ihre unteren Kanten in Berührung bleiben, mehr oder weniger weit auseinander gerückt werden, wird jener Winkel ein grösserer oder kleinerer.

Im Umriss ist dieses binoculäre Mikroskop in Fig. 319 a. f. S. dargestellt. Die beiden Prismen befinden sich am Boden einer dreieckigen Röhre von Messingblech, die auf dem Durchschnitte länglich vierseitig ist. Befestigt ist diese Röhre an einen (in der Figur nicht sichtbaren) Arm, der bei *P* eine halbe Umdrehung hat, damit die Objective leichter gewechselt werden können. Bei *CC* sieht man zwei Ocularröh-

ren, die an Axen hängen, um ihre Neigung abändern zu können, und die auch in horizontaler Richtung sich verschieben, damit ihre wechselseitige Distanz jener der Augen verschiedener Beobachter correspondire. *BB* sind die geränderten Knöpfe von Schrauben, wodurch die wechselseitige Neigung der Prismen modificirt wird. Endlich kann man noch über jedes Ocular ein kleines rechtwinkeliges Prisma dergestalt bringen, dass die halbe Umkehrung des Bildes, welche durch die ersten Prismen zu Stande kam, dadurch eine vollständige wird, das gesammte Bild sich also in der richtigen Stellung zeigt.

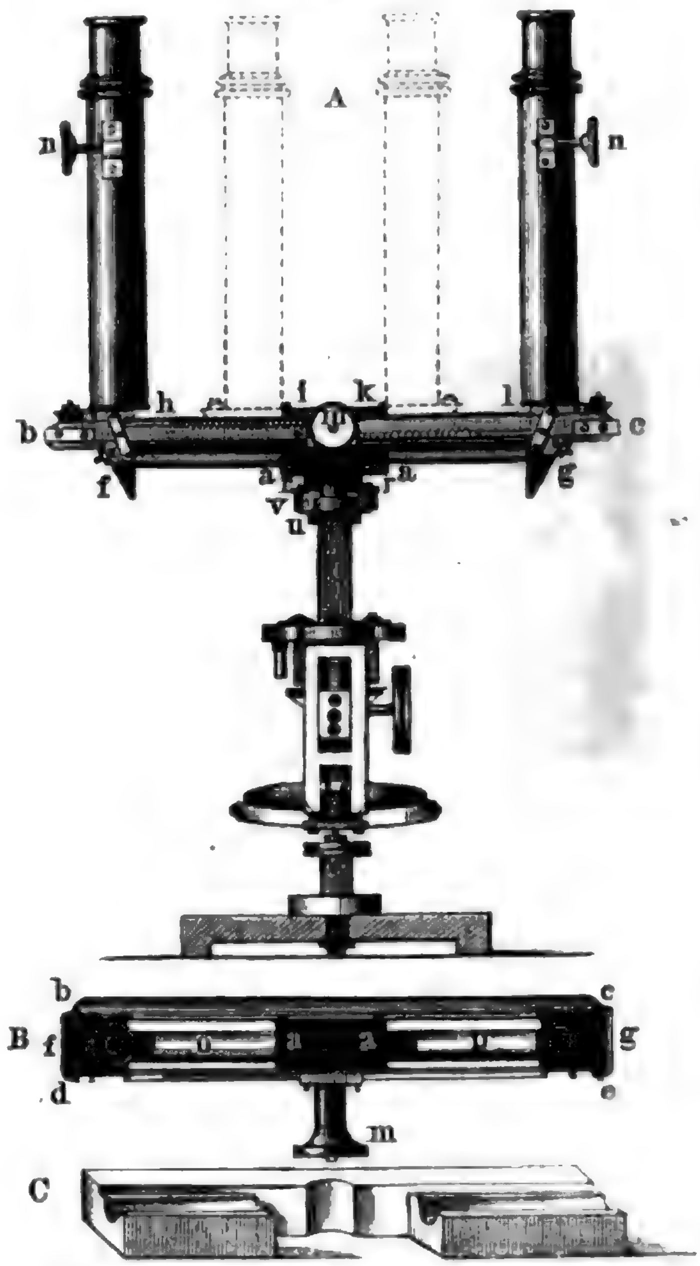
Nach Riddell sollen die Wirkungen eines solchen Instruments staunenerregend sein, wenn man die Neigungswinkel der Oculare und

Fig. 319.



Riddell's binoculäres Mikroskop.

Fig. 320.



Harting's binoculäres Mikroskop.

der Prismen verändert und den verschiedenen Convergenzwinkeln der Augenaxen anpasst. „Bei einer gewissen Stellung," sagt er, „wird man z. B. eine Milbe oder ein Räderthierchen einen Fuss entfernt und so gross wie eine Maus sehen; bringt man aber die beiden Prismen näher aneinander und entsprechen die beiden Oculare der veränderten Stellung,

dann wächst das Bild auf wunderbare Weise, es scheint mehrere hundert Fuss entfernt zu sein und wetteifert in Grösse mit dem Wallfische u. s. w."

Es mag dahin gestellt bleiben, ob an dieser Schilderung eine amerikanische Uebertreibung Theil gehabt hat. Dass die scheinbare Vergrösserung auch beim monoculären Mikroskope ganz von der Entfernung der Fläche abhängig ist, auf welche das Bild projicirt wird, hat seine vollkommene Richtigkeit und wurde auch oben (§. 216) durchs Experiment dargethan. Dass aber dieses binoculäre Mikroskop je nach der verschiedenen Convergenz der Augenaxen einen so gewaltigen Einfluss übe, dass eine Vergrösserung 200 bis 300 Mal grösser ist als eine andere, das finde ich zum mindesten sehr zweifelhaft, wenn auch hierbei viel auf die Eigenthümlichkeit der Augen des Beobachters ankommt, und dasjenige, was der eine gesehen haben will, sich dem andern nicht eben so darzustellen braucht. Sicherlich nimmt aber nur die scheinbare Vergrösserung zu, und in dem Räderthierchen, welches so gross wie ein Wallfisch ist, würde man nicht mehr sehen, als wenn es die Grösse einer Maus zu haben scheint.

Riddell scheint nicht darauf gekommen zu sein, seine Erfindung auch für ein binoculäres Mikroskop für zwei Beobachter zu verwerthen. Dieser Gedanke lag aber ganz nahe, und ich habe unlängst den schon früher gehegten Plan zu einem solchen Mikroskope wirklich ausgeführt, dasselbe aber so einrichten lassen, dass es eben so gut als einfaches Mikroskop wie als zusammengesetztes stereoskopisches Mikroskop zu benutzen ist. Auch schien es mir wichtig, eine solche Einrichtung zu treffen, die dem gewöhnlichen monoculären Mikroskope zugefügt werden kann. Die meisten Mikroskopgestelle, wo sich das Mikroskoprohr in einem weitern Rohre auf- und niederbewegt, welches durch einen Arm mit dem Stamme zusammenhängt, eignen sich nicht hierzu; dagegen passt das Amici'sche Mikroskopgestell, zumal wenn es einen schwerern Fuss bekommt. Dieses Mikroskop nun, wie es mir der Instrumentenmacher Olland in Utrecht hergestellt hat, ist Fig. 320 von hinten dargestellt; der das gewöhnliche Ocularrohr des Amici'schen Mikroskops ersetzende Apparat lässt sich an dem mit dem Arme *u* zusammenhängenden Ringe *v* an- und abschrauben. Der Fuss, die Stange, der Objecttisch mit den Mitteln zur groben und zur feinen Einstellung, desgleichen der Beleuchtungsapparat gehören dem Amici'schen in Fig. 294 dargestellten Mikroskope an.

Ueber dem Objective befinden sich die zwei mittleren rechtwinkeligen Prismen, die in Fig. 317 dargestellt sind, und die beiden anderen Prismen können diesen genähert oder entfernter davon gestellt werden. Dazu dient die Einrichtung, welche man bei *B* von oben dargestellt sieht. Das Kästchen *aa* nämlich umschliesst die feststehenden Prismen und hat unten um die Oeffnung einen Ring *rr* mit einem Schraubengange, um es auf den Arm des Instruments befestigen zu können; ausserdem ist es mit

dem Rahmen *bcde* verbunden, woran die beiden Kästchen *f* und *g* mit den seitlichen Prismen schlittenartig hin- und hergleiten. Zum Zwecke dieser Bewegung sind zwei gezahnte Stangen *hi* und *kl* damit verbunden, in welche ein Trieb greift, zu dem der geränderte Knopf *m* gehörig ist. Da diese Stangen in entgegengesetzter Richtung über einander gleiten, so kommen die Prismen einander näher, wenn der Knopf in der einen Richtung umgedreht wird, und durch Umdrehen in entgegengesetzter Richtung entfernen sie sich von einander. Auf diese beweglichen Kästchen nun sind die Ocularröhren geschraubt, die noch aus zwei in einander verschiebbaren Röhren bestehen, damit die Entfernung des Oculars gemäss dem Zustande der verschiedenen Augen modificirt werden kann. Das geschieht aber durch einen Trieb, wozu der bei *n* sichtbare geränderte Knopf gehört.

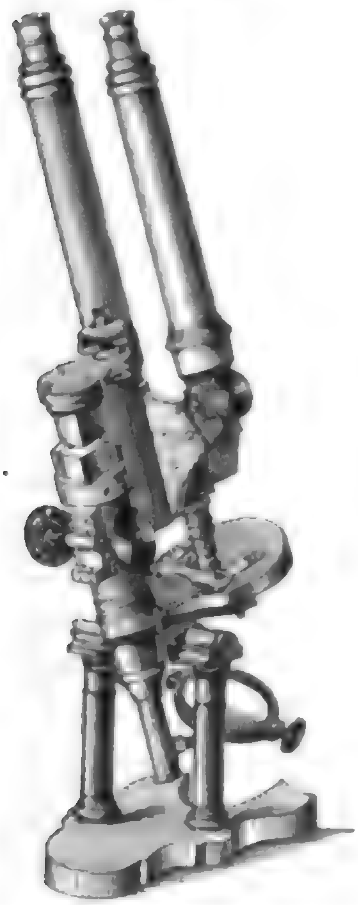
Soll das Instrument als einfaches oder als zusammengesetztes stereoskopisches Mikroskop dienen, dann werden die beiden seitlichen Prismen einander soweit genähert, dass man mit beiden Augen zugleich sehen kann, wo dann die Ocularröhren etwa die Stellung haben, welche in der Figur durch die punktirten Linien angegeben ist.

Sollen hingegen zwei Personen gleichzeitig zur Beobachtung kommen, dann werden die Prismen mit den Ocularröhren bis an die beiden Enden des Rahmens gebracht, und die Oculare stehen dann 20 Centimeter von einander ab. Bei dieser Stellung müssen jedoch zwischen den beiderseitigen Prismen die Röhren *o* und *p* eingeschoben werden, um das von aussen einfallende Licht abzuhalten. Zu diesem Ende kommen die beiden Röhren in die Höhlung eines rinnenförmigen Stückes Holz *C* (Fig. 320), welches vorn einen Ausschnitt für den mittlern Theil hat. Man hält das Stück Holz mit den Röhren in einer Hand, bringt diese auf den für sie bestimmten Platz, dreht dann den Knopf *m* mit der andern Hand um und nähert dadurch die Prismen einander, dass sie an die Röhren anschliessen.

Wie schon erwähnt, verfertigt **Nachet** ebenfalls binoculäre Mikroskope, solche sowohl, die für zwei Personen bestimmt sind, als auch stereoskopische für die beiden Augen der nämlichen Person. Ihre optische Einrichtung ist oben (§. 192) beschrieben worden. Was die mechanische Einrichtung anbelangt, so benutzte **Nachet** zuerst das Gestell mit dem trommelförmigen Fusse. Später ist er aber davon zurück gekommen, und seine neuern binoculären Mikroskope haben die Einrichtung wie Fig. 321 und Fig. 322, deren nähere Beschreibung nach dem früher Mitgetheilten kaum nöthig ist. Das Mikroskop Fig. 321 ist für zwei Beobachter bestimmt. In dem Kästchen *a* ist das dreieckige Prisma über dem Objectiv enthalten. Die beiden anderen, wodurch die Strahlen zum zweiten Male reflectirt werden sollen, befinden sich bei *b* und *b'*. Bei *c* ist einer der Knöpfe sichtbar, die zum Einstellen des Oculars bestimmt sind, indem das innerste Rohr hin- und hergeschoben wird. Ein solches Mikroskop, mit den Objectivsystemen Nr. 0, 1 und 3 ausgestattet, kostet 300 Francs.

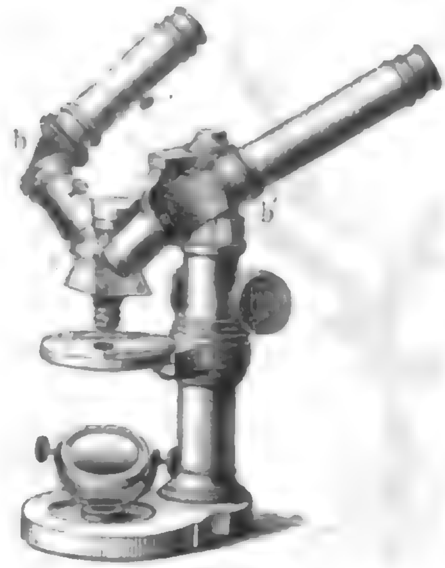
Das stereoskopische Mikroskop neuester Construction, mit den nämlichen drei Linsensystemen, ist Fig. 322 dargestellt; es kostet 400 Frcs.

Fig. 322.



Nachet's stereoskopisches binoculäres Mikroskop.

Fig. 321.

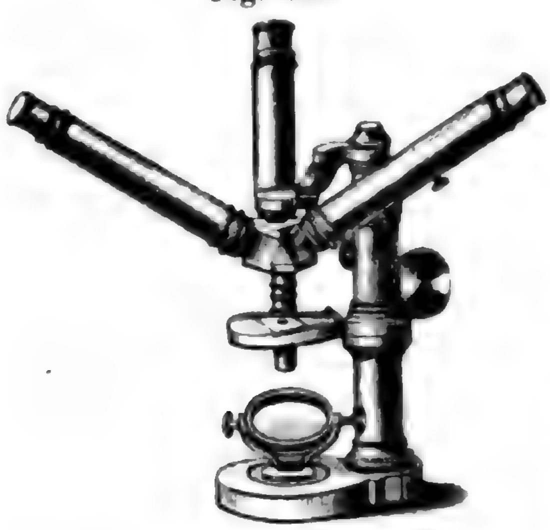


Nachet's binoculäres Mikroskop für zwei Beobachter.

Das Näherrücken und Fernerrücken der Prismen wird hier durch einen recht sinnreichen Mechanismus zu Stande gebracht, der sich aber nur schwer in kurze Worte fassen und ohne die Beihülfe mehrerer Abbildungen beschreiben lässt.

Um die Schwierigkeit zu beseitigen, die für viele Personen darin liegt, dass sie die beiden Felder zu Einem Felde vereinigen sollen, und die vorzüglich durch den Umstand herbeigeführt wird, dass beide Röhren senkrecht stehen, also der Convergenz der Augenaxen nicht entsprechen, hat Nachet nach Wheatstone's Rath zwei achromatische Prismen beigegeben, deren jedes die Strahlen 7° von der senkrechten Richtung ablenkt, so dass sie zusammen einem Convergenzwinkel von 14° entsprechen. Diese Prismen sind in passende ringförmige Kästchen eingeschlossen, kommen auf die Oculare und werden darauf herumgedreht, bis sie in die Stellung kommen, bei welcher die beiden Felder zusammenfallen. Ich kann aus Erfahrung bezeugen, dass es durch diese nützliche Zugabe sehr erleichtert wird.

Fig. 323.



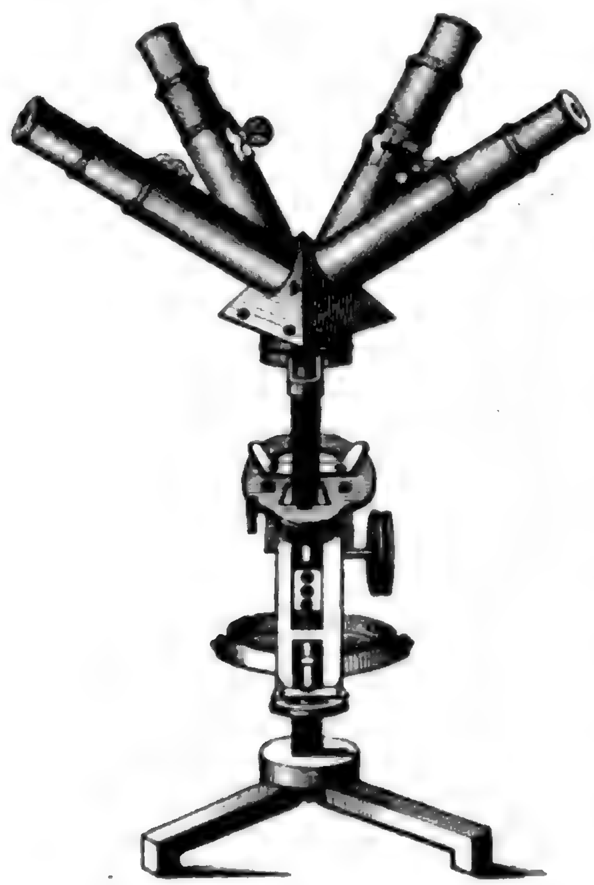
Nachet's trioculäres Mikroskop.

Das trioculäre Mikroskop Nachet's ist in Fig. 323 dargestellt und bedarf auch keiner näheren Beschreibung. Mit den drei Objectivsystemen Nr. 0, 1 und 3 kostet es 300 Francs.

Durch Fig. 324 a. f. S. endlich bekommt man eine Vorstellung vom quadrioculären Mikroskope, dessen Theorie ich früherhin (§. 192) entwickelt habe. Eine dazu gehörige Glaspyramide hatte mir van Deyl Bunders in Amster-

dam geschliffen. Die Form war gut und ebenso die Politur; es ging aber der benutzten Glassorte die Homogeneität ab, und dadurch erwies sich das Prisma ganz unbrauchbar für den bestimmten Zweck. Hierauf hat Steinheil in München eine andere solche Pyramide nach meiner Vorschrift geschliffen; diese ist in Betreff der Homogeneität des Glases ganz vortrefflich, ihre Form aber ist nicht ganz gelungen. Nichtsdestoweniger genügt diese Pyramide so ziemlich, um das quadrioculäre Mikroskop, dessen mechanische Ausführung von dem Instrumentenmacher Olland in Utrecht herrührt, zu einem für Demonstrationen passenden Instrumente zu machen, sobald man nur mit den Vergrösserungen nicht über 100 hinausgeht. Ich habe aber die Ueberzeugung, dass, wenn grössere Sorgfalt auf die Herstellung der Pyramide verwendet wird, sich recht wohl ein quadrioculäres Mikroskop wird herstellen lassen, dessen Bilder auch bei einer mindestens doppelt so starken Vergrösserung noch vollkommen hell und scharf hervortreten werden.

Fig. 324.



Harting's quadrioculäres Mikroskop.

Die mechanische Einrichtung dieses Mikroskops ersieht man deutlich aus der Abbildung. Wie beim binoculären Mikroskope besteht auch hier jedes Mikroskoprohr aus zwei Röhren, die sich ineinander schieben lassen, und von denen die innere sich durch einen Trieb bewegen lässt, damit jedes Ocular einzeln für das Auge des Beobachters eingestellt werden kann. Der ganze optische Theil wird auf das nämliche schon oben genannte Amici'sche Stativ geschraubt, so dass dieses abwechselnd in ein monoculäres, ein binoculäres, ein einfaches oder zusammengesetztes stereoskopisches, oder in ein quadrioculäres Mikroskop umgewandelt werden kann.

Was die praktische Brauchbarkeit dieser verschiedenen Arten von multoculären Mikroskopen betrifft, so kann ich nur auf das verweisen, was ich schon im ersten Buche darüber gesagt habe: nicht die Wissenschaft, wohl aber der Unterricht können dadurch gefördert werden. Ich kann jetzt noch beifügen, dass nach einigen unlängst mit einem Nachet'schen stereoskopischen Mikroskope angestellten Beobachtungen die pseudoskopische Umkehrung der Erhöhungen in Vertiefungen und umgekehrt

nicht hervortritt. Das mag wohl davon herkommen, dass die beiden durch Spaltung entstandenen Strahlenbündel von rechts nach links und von links nach rechts geworfen werden und somit auch die beschatteten und die erhellten Theile der Objecte in den vor den Ocularen entstehenden Bildern entgegengesetzte Oerter einnehmen.

Am Ende dieses Abschnittes wollen wir auch noch einen Blick wer- 443
fen auf den Entwickelungsgang des zusammengesetzten Mikroskops während mehr denn zwei Jahrhunderten, die seit seiner Erfindung verflossen sind.

Wenn sich auch nicht ganz bestimmt angeben lässt, in welcher Zusammensetzung das Mikroskop zuerst aus den Händen seiner Erfinder (Hans und Zacharias Janssen 1590?) hervorging, so dürfen wir doch mit einer an Sicherheit angrenzenden Wahrscheinlichkeit annehmen, dass es aus zwei convexen Gläsern bestand. Ungefähr bis zur Mitte des folgenden Jahrhunderts erhielt sich diese Zusammensetzung: da fügte man noch ein drittes Convexglas hinzu, und Einzelne fingen auch an, planconvexe Gläser zu nehmen, die sie selbst zu Doublets vereinigten. Die Vergrösserung ging bei den zusammengesetzten Mikroskopen in der letzten Hälfte des 17. Jahrhunderts nicht hoch: eine 80malige Vergrösserung galt schon für sehr viel, und eine 140malige konnte man nur durch eine ungewöhnliche Verlängerung des Rohrs zu Stande bringen. Dabei dürfen wir es aber als ausgemacht annehmen, dass bei diesen Vergrösserungen kaum soviel zu erkennen war, als wir jetzt bei einer 20maligen Vergrösserung mit Leichtigkeit wahrnehmen. Das hatte einen doppelten Grund: erstens fehlte es den Bildern an Schärfe, weil sich beiderlei Aberrationen geltend machten, und zweitens betrachtete man die Objecte nur bei auffallendem Lichte. Beinahe erst ein Jahrhundert nach der Erfindung des zusammengesetzten Mikroskops kam man darauf, demselben die beim einfachen Mikroskope schon längst gebräuchliche Einrichtung zu geben. Am Fusse, der zugleich als Objecttisch diente, wurde nämlich eine Oeffnung angebracht, und die daraufliegenden Objecte nebst dem Mikroskoprohre wurden dem Lichte zugekehrt (Tortona 1685). Das war eine grosse Verbesserung; denn jetzt konnte man auch kleinere Linsen mit enger Oeffnung als Objective verwenden und dadurch stärkere Vergrösserungen herbeiführen, ohne genöthigt zu sein, stärkere Oculare zu nehmen oder das Mikroskoprohr ungebührlich zu verlängern. Die horizontale Stellung war aber bei vielen Objecten unbequem zur Beobachtung. Gleichwohl dauerte es noch dreissig Jahre, ehe man zu jenem klar auf der Hand liegenden Hülfsmittel, nämlich dem lichtreflectirenden Spiegel (Hertel 1715) griff, wodurch die Vortheile der verticalen Stellung und der Beobachtung bei durchfallendem Lichte vereinigt wurden, und wie unglaublich es auch jetzt erscheinen mag, wo jede neue Verbesserung so schnell bekannt wird und Nachahmung findet, erst zwanzig Jahre später wurde der Gebrauch des Beleuchtungsspiegels ein allgemeiner.

Die sonstigen Verbesserungen im optischen Theile während des übrigen achtzehnten Jahrhunderts waren sehr unbedeutend. Während man früher versucht hatte, das Objectiv aus zwei Linsen zusammenzusetzen (Sturm 1672), geschah jetzt wieder ein Schritt rückwärts, indem man allgemein eine biconvexe Linse nahm; denn dieser konnte nur eine geringe Oeffnung gegeben werden, wenn das Bild nicht zu sehr an Schärfe verlieren sollte. Alle suchten eine Verbesserung des zusammengesetzten Mikroskops durch die das Ocular zusammensetzenden Gläser zu erreichen (Hooke 1665, Divini 1668, Grindl 1685, Dellebarre 1767 bis 1777); statt zweier Gläser nahm man deren drei, vier, selbst fünf; statt biconvexer Linsen nahm man planconvexe und deren wechselseitige Abstände und Krümmungen änderte man auf die mannichfaltigste Weise; nach der Entdeckung des Mittels zum Achromatisiren der Fernrohre (Chester More Hall 1722) machte man selbst biconvexe Linsen aus Flintglas und Kronglas (Dellebarre), und hoffte auf diese Weise auch das Mikroskop achromatisch zu machen; — keiner von allen diesen Versuchen führte aber zum Ziele, die Verbesserungen waren ganz unerheblich und bestanden gewöhnlich nur darin, dass das Gesichtsfeld an Breite zunahm und mehr geebnet wurde. Im eigentlichen optischen Vermögen, dass man nämlich bei der gleichen Vergrösserung eines Objects an demselben mehr sehen und unterscheiden kann, standen die zusammengesetzten Mikroskope gegen Ende des achtzehnten Jahrhunderts auf gleicher Stufe mit jenen, die beinahe ein Jahrhundert früher verfertigt worden waren. Nur hatte man allmälig immer stärker vergrössernde Linsen zu den Objectiven genommen, was allerdings ein Fortschritt war, aber auch hierin bereits die äusserste Grenze erreicht, die nicht füglich überschritten werden konnte, wenn das Bild nicht zu sehr an Lichtstärke verlieren sollte. Wirklich schien das zusammengesetzte Mikroskop dem einfachen immer mehr das Feld räumen und nur noch in den Sammlungen physikalischer Instrumente eine Stelle finden zu sollen, oder allenfalls mochte es zur Befriedigung der Neugier sogenannter Liebhaber dienen, die es eher als Kaleidoskop benutzten, als zur Förderung der Wissenschaft. Zu wissenschaftlichen Untersuchungen gaben alle wahren Naturforscher einstimmig und mit vollem Rechte dem einfachen Mikroskope den Vorzug.

Schon länger als ein halbes Jahrhundert kannte man das Verfahren, wie Objective für Fernrohre achromatisch gemacht werden; dieses Verfahren aber auch auf die weit kleineren Linsen für die Objective des zusammengesetzten Mikroskops anzuwenden, schien den meisten ein ganz wahnwitziges Unternehmen, das man kaum versuchen dürfte. Nur einzelne dachten etwas anders darüber und gaben den Muth nicht auf. Schon in den letzten Jahren des vorigen Jahrhunderts sahen wir, zwar nicht einen der damaligen Meister im Mikroskopbau, sondern nur einen einfachen Liebhaber, dem es selbst an einer wissenschaftlichen Anleitung gefehlt hatte (Beeldsnyder 1791), bemüht, das zu Stande zu bringen, was anderen eine Unmöglichkeit zu sein schien. Einige Jahre später

wurde durch dessen Stadtgenossen (H. van Deyl 1807), der aber allerdings in der Anfertigung optischer Instrumente erfahren war und schon viele Jahre früher mit seinem Vater (J. van Deyl 1762) nicht ohne Erfolg das nämliche Ziel angestrebt hatte, ein achromatisches Mikroskop hergestellt, welches 17 Jahre lang unübertroffen dastand. Während aber die geräuschlosen Versuche des einen ganz unbekannt blieben, die des andern aber von den Zeitgenossen und Landsleuten nicht gehörig anerkannt wurden, erwachte auch bei andern der Muth dazu, ihre Kräfte an diesem Ziele zu versuchen. Auf mehreren Punkten Europa's (Fraunhofer 1811, Amici 1815, Domet 1821, Tulley 1824) arbeitete man mit mehr oder weniger Erfolg daran; nur gelang es noch immer nicht, achromatische Objective mit so kurzer Brennweite herzustellen, dass sie einigermaassen jenen gleich gekommen wären, deren man sich gewöhnlich beim zusammengesetzten Mikroskope bediente.

Ein glücklicher Gedanke überwand endlich auch diese Schwierigkeit. Statt eine einzelne achromatische Linse zu nehmen, vereinigte man mehrere zu einem Systeme (Selligue und Chevalier 1824), und nun hatte man nicht allein den Weg gefunden, ein Objectiv mit hinreichend kurzer Brennweite herzustellen, sondern noch wichtiger war es, dass diese Verbindung zugleich das Mittel an die Hand gab, die chromatische wie die sphärische Aberration in erheblicher Weise zu verbessern, wenn man den Abstand zwischen den Doppellinsen auf die erfahrungsmässig beste Weise einrichtete.

Von da an war die Bahn zur fernern Vollendung des zusammengesetzten Mikroskops gebrochen. Nach ein paar Jahren hatte es das einfache Mikroskop eingeholt in Betreff des optischen Vermögens, und die früheren Vorzüge, die es vor diesem voraus gehabt hatte, blieben ihm. Noch ein paar Jahre später war das einfache Mikroskop auch in ersterer Beziehung überholt, trotz dem, dass viele bemüht waren, das Instrument, welches ihnen so lieb geworden war und dem die Wissenschaft so viele Entdeckungen zu verdanken hat, auch einem höhern Grade der Vollkommenheit zuzuführen. Der Versuch schlug nicht fehl, Theorie und Praxis schlossen sich genau an einander, um das Ziel zu erreichen, und es wurde viel darauf verwandt, dem einfachen Mikroskope seinen frühern Vorrang bleibend zu sichern; nichts desto weniger musste es aber endlich den Streit fallen lassen.

Die grossen Fortschritte, welche das zusammengesetzte Mikroskop gemacht hat, seitdem man aplanatische Linsensysteme gebraucht, treten am deutlichsten hervor, wenn man eins der besten älteren zusammengesetzten Mikroskope, etwa jenes von Dellebarre, mit einem der besseren neueren, z. B. dem Amici'schen, vergleicht, und als Maassstab die kleinsten noch sichtbaren dioptrischen Bildchen nimmt:

	Sichtbarkeit		Unterscheidbarkeit eines Drahtgeflechts:	
	kugelförm. Objecte.	fadenförm. Objecte.	Drähte.	Maschenräume.
Dellebarre 1777	$^1/_{1300}$ mm	$^1/_{6900}$ mm	$^1/_{1490}$ mm	$^1/_{990}$ mm
Amici . . . 1848	$^1/_{4790}$	$^1/_{41300}$	$^1/_{6140}$	$^1/_{3750}$

Somit verhält sich das Dellebarre'sche Mikroskop zum Amici'schen in Betreff der Sichtbarkeit kugelförmiger Objecte = 1 : 3,7
» » » » fadenförmiger » = 1 : 6,0
» » » Unterscheidung von Maschenräumen = 1 : 3,8.

Der Unterschied ist gross, trotzdem dass die Brennweiten der beiden Objective (2,5mm bei Dellebarre, 2,7mm bei Amici) nur wenig differiren und der Vortheil dieser Differenz sogar dem ältern Mikroskope zufällt. Dagegen hat das stärkste Objectiv bei Dellebarre nur 22° Oeffnungswinkel und bei Amici 94°, so dass sie sich hierin wie 1 : 4,4 verhalten. Letzteres lässt demnach etwa 20 Mal mehr Licht eintreten, als ersteres, und diesem Umstande muss auch vorzugsweise das grössere optische Vermögen der neueren aplanatischen Mikroskope zugeschrieben werden.

Dazu kommt noch, dass das hierbei benutzte Amici'sche Mikroskop schon 10 Jahre alt ist, und dass es Amici sowohl als anderen Optikern seitdem gelungen ist, ihren Objectiven noch bedeutend grössere Oeffnungswinkel zu verschaffen und dadurch deren optisches Vermögen noch zu erhöhen

444 Da die Bilder in unseren heutigen Mikroskopen solche Schärfe und Helligkeit besitzen, so könnte man vielleicht versucht werden zu glauben, das zusammengesetzte Mikroskop habe jetzt seinen Culminationspunkt erreicht und es sei wenig Aussicht vorhanden, dasselbe auf eine höhere Stufe der Vollkommenheit zu bringen. Das ist aber ein Irrthum, wie zumal die Geschichte der letzten Jahre dargethan hat. Wiederholt und namentlich kurze Zeit nach Einführung der achromatischen Linsen hat man diese Ansicht ausgesprochen; gleichwohl hat jedes folgende Jahr immer den Beweis geliefert, dass man noch lange nicht die Bahn der möglichen Verbesserungen durchlaufen hat. An der Spitze der Vollkommenheit würde das Mikroskop dann erst angekommen sein, wenn sein optisches Vermögen mit der Vergrösserung gleichen Schritt hielte; dass dies aber noch nicht der Fall ist, habe ich oben (§. 245) ausführlich dargethan. Ich lasse hier noch die Resultate folgen, die ich bei Vergleichung des optischen Vermögens einiger neueren Amici'schen Objectivsysteme mit jenem des blossen Auges erhalten habe. Es wird aber genügen, wenn ich diese Vergleichung auf die Vergrösserung mit dem

schwächsten Oculare einschränke, wodurch die Vergrösserung des blossen Objectivs etwa eine siebenmal grössere wird.

Objectiv.	Brennweite der äquivalenten Linse.	Vergrösserung.	Sichtbarkeit kugelf. Objecte. Wirkliche Verstärkung.	Sichtbarkeit kugelf. Objecte. Verlust.	Sichtbarkeit fadenf. Objecte. Wirkliche Verstärkung.	Sichtbarkeit fadenf. Objecte. Verlust.	Unterscheidbarkeit v. Maschenräumen. Wirkliche Verstärkung.	Unterscheidbarkeit v. Maschenräumen. Verlust.
Nr. 1.	26,15mm	96	76	0,21	62	0,35	74	0,23
„ 2.	7,45 „	217	116	0,49	99	0,54	154	0,29
„ 6.	4,00 „	423	215	0,49	161	0,64	175	0,59
„ 11.	2,67 „	650	241	0,63	199	0,69	229	0,65

Man ersieht hieraus ganz deutliche Fortschritte bei dem Instrumente von 1848 gegen jenes von 1835; indessen fehlt doch auch noch viel daran, dass die äusserste Grenze optischer Vollkommenheit bereits erreicht wäre. Bei den stärkeren Objectivsystemen findet immer noch ein verhältnissmässig grosser Verlust statt, und steigert man die Vergrösserung noch durch Anwendung stärkerer Oculare, dann nimmt dieser Verlust in einem erheblichen Maasse zu.

Das giebt zugleich auch einen Fingerzeig über den Weg, der fortan eingeschlagen werden muss, um die zusammengesetzten Mikroskope in optischer Beziehung auf eine höhere Stufe der Vollkommenheit zu bringen. Bis vor einigen Jahren war man allgemein der Ansicht, die auch wohl jetzt noch von vielen Optikern getheilt wird, vor allem habe man sich darauf zu verlegen, achromatische Objective mit möglichst kurzer Brennweite herzustellen. An und für sich ist dies auch zu billigen; denn im Allgemeinen darf angenommen werden, je weniger zu einer bestimmten Vergrösserung das Ocular beiträgt, um so deutlicher und schärfer wird das Bild sich darstellen. Dabei wird aber etwas vorausgesetzt, was erfahrungsmässig niemals stattfindet und auch nicht stattfinden kann, dass nämlich bei einem stärkern Objectivsysteme die Aberrationen gleichviel verbessert sind, wie bei einem schwächern. Nur in diesem Falle würde jede Verkürzung des Focus ein Gewinn sein. Sobald indessen mit einem Objective von 1 Millimeter Brennweite nicht mehr gesehen werden kann, als mit einem solchen von 2 Millimeter Brennweite, dann verdient letzteres den Vorzug, schon deshalb, weil dann zwischen dem Objective und dem Objecte mehr Raum übrig bleibt. Nun wird aber die Tüchtigkeit des Objectivs für ein zusammengesetztes Mikroskop ganz besonders durch die ansehnlichere oder geringere Grösse des Oeffnungswinkels be-

stimmt. Diesen zu vergrössern, ohne dass die Correction der sphärischen Aberration darunter leidet, muss demnach das Ziel aller sein, die das Mikroskop zu verbessern wünschen, und es lässt sich auch voraus sehen, dass auf diesem Wege, der von Manchen bereits mit so gutem Erfolge betreten wurde, fernerhin noch ein erheblicher Fortschritt möglich ist.

Andererseits ist es aber nicht zu verkennen, dass eine zu einseitige Vergrösserung der Oeffnung der Objectivlinsen dem begrenzenden Vermögen oder der Sichtbarmachung Eintrag thut, und dass manche Optiker in der letzten Zeit darin wohl zu weit gegangen sind. Diesen schädlichen Folgen kann man zwar zum Theil durch ein drehbares Diaphragma begegnen, wodurch die Oeffnung des Objectivs nach Willkür verkleinert und vergrössert werden kann. Der Hauptgrund indessen, warum die beiden Hauptmomente des optischen Vermögens eines Mikroskops, das unterscheidende Vermögen nämlich und das begrenzende Vermögen, nicht immer den gleichen Schritt halten, liegt wohl darin, dass die beiden Aberrationen immer nur theilweise verbessert sind, namentlich für jene Strahlen, welche in der Nähe des Randes durchtreten. Ein Hauptpunkt bleibt demnach immer noch das Bemühen, die Aberrationen zu vermindern, und es verdienen die Versuche von Amici und von Ross alle Nachahmung, die das sogenannte secundäre Spectrum dadurch zu beseitigen suchten, dass sie jede Doppellinse des Objectivs aus zwei besonderen Glassorten mit verschiedenem Brechungs- und Dispersionsvermögen zusammensetzten.

445 Was das Ocular betrifft, so wurde oben (§. 159) nachgewiesen, dass auch dessen Einrichtung für das optische Vermögen des zusammengesetzten Mikroskops keineswegs gleichgültig ist; indessen wird dessen Zusammensetzung doch immer jener des Objectivs untergeordnet bleiben. Die meisten Optiker nehmen jetzt Huygens'sche Oculare, manche aber auch Ramsden'sche (§. 162). Es lässt sich nicht wohl mit Bestimmtheit angeben, ob die Zusammensetzung des Oculars aus achromatischen Doppellinsen, die von Manchen gewählt wurde, zu einer erheblichen Verbesserung führen kann. Die bis jetzt verfertigten aplanatischen Oculare haben ein zu schwaches Vergrösserungsvermögen und ein zu kleines Gesichtsfeld, als dass ihnen vor den anderen der Vorzug sollte eingeräumt werden können. Die Möglichkeit indessen, auch auf diesem Wege das Mikroskop noch mehr zu vervollkommnen, lässt sich nicht in Abrede stellen; nur muss man, wenn man aplanatische wie gewöhnliche Oculare mit den nämlichen Objectivsystemen benutzen will, dabei immer im Auge behalten, dass die Linsen des aplanatischen Oculars unterverbessert sein müssen.

Als eine Eigenthümlichkeit des Amici'schen Mikroskops habe ich die Einrichtung angeführt, dass der Abstand der beiden Linsen des Oculars der Abänderung fähig ist, dieser Abstand also so eingerichtet wer-

den kann, wie er sich für jedes Objectiv und für verschiedene Längen des Rohrs als der zweckmässigste herausstellt. In der That ist es nicht möglich, alle Objective in so vollkommener Weise als überverbesserte herzustellen, dass ein Ocular, dessen Gläser feststehend sind, für alle gleich gut passte, und in dieser Hinsicht verdient diese Verbesserung allerdings Nachahmung. Sie wird jedoch immer nur einen beschränkten Nutzen gewähren, weil nur wenige von denen, welche das Mikroskop benutzen, sich die Mühe geben werden, vorher zu prüfen, welche Distanz der Augengläser unter verschiedenen Umständen die passendste ist.

Eine grosse Ungleichheit tritt uns entgegen, wenn wir die Oculare verschiedener Optiker hinsichtlich der Vergrösserung unter einander vergleichen. Durch die fünf Oberhäuser'schen Oculare wird, bei voller Länge des Mikroskoprohrs, das durchs Objectiv erzeugte Bild 2,5 — 2,6 — 3,3 — 5,4 und 7,3 Mal vergrössert, bei den drei Amici'schen Ocularen dagegen beträgt diese Vergrösserung 6,9 — 10,7 und 14,9 Mal. Eine bestimmte Regel lässt sich dafür allerdings nicht aufstellen, da die Oculare in dem Maasse stärker sein können, als die Objective ein reineres Bild geben; doch scheint es mir, als ob die zwei oben genannten Optiker die Extreme repräsentirten, die man beide zu vermeiden hat. Im Allgemeinen darf man annehmen, dass drei Oculare mit einer 4fachen, 6fachen und 9- oder 10fachen Vergrösserung für alle Fälle ausreichen werden.

Bei Beurtheilung der relativen Tüchtigkeit der Oculare darf ein fernerer Punkt nicht ganz aus den Augen gelassen werden, nämlich welchen Grad von Ebenung das Gesichtsfeld dadurch bekommt. Oben (§. 152 und 162) ist nachgewiesen worden, dass, wenn ein Huygens'sches Ocular genommen wird, die Krümmung des Bildes sich vollständig beseitigen lässt. Da aber alsdann der relative Abstand beider Gläser nicht immer genau ein solcher ist, wodurch die noch vorhandene Aberration des Bildes verbessert wird, so pflegen viele Optiker das gerade Gesichtsfeld ganz oder theilweise zum Opfer zu bringen, und manchmal trifft man sogar Oculare, durch die das Bild so gebogen erscheint, dass die Vergrösserung am Rande und in der Mitte des Gesichtsfeldes auffallend differirt und deshalb alle mikrometrischen Methoden unzulässig sind, bei denen es auf eine genaue Kenntniss des Vergrösserungswerthes ankommt.

Aus diesem Grunde wäre es wünschenswerth, wenn die Optiker künftig das Beispiel Kellner's befolgten und ihren Mikroskopen Oculare mit einem ebenen und zugleich grossen Gesichtsfelde gäben. Uebrigens kann man von Belthle, gleichwie früher von Kellner, einzelne orthoskopische Oculare beziehen um den Preis von 7 Thalern. Nur muss bei der Bestellung genau angegeben werden, wie weit das Luftbild vom Objective entfernt ist.

446 Eine recht gute Verbesserung, die jetzt immer mehr in Gebrauch kommt, ist die Einrichtung, vermöge deren das Mikroskoprohr länger und kürzer gemacht werden kann. Die Zusammensetzung aus zwei in einander verschiebbaren Röhren ist aber hierbei weit vorzüglicher, als die Bildung des Rohrs aus zwei Theilen, die durch eine Schraube verbunden werden. Mehrfache Gründe machen die allgemeine Verbreitung dieser Einrichtung wünschenswerth. Erstens lassen sich damit die Aberrationen verbessern, die bei der Benutzung von Deckplättchen in Folge des nicht ganz genauen Verhältnisses zwischen Objectiv und Ocular entstehen (§. 165). Zweitens gestattet sie, die Erhebung des Oculars über den Tisch dergestalt zu verkürzen, dass man mit Bequemlichkeit im Sitzen arbeiten kann. Drittens bietet sie das Mittel dar, jedes zusammengesetzte Mikroskop auf die beste und einfachste Weise zu einem bildumkehrenden und zugleich pankratischen zu machen, indem man unten an das innere Rohr ein achromatisches Linsensystem mit ziemlich grosser Brennweite anschraubt, welches nach Willkür wieder weggenommen werden kann. Ein vierter Vortheil ist dadurch zu erzielen, wenn auf dem innern Rohre eine Scala in Millimetern, oder in einer andern beliebigen Maasseinheit angebracht wird, so dass man ein für alle Mal in einer Tabelle die Höhen verzeichnen kann, bis wohin das innere Rohr ausgezogen werden muss, damit die Vergrösserung des Mikroskops für die Entfernung von der obern Fläche des Oculars bis zum Tische, worauf das Mikroskop steht, in Werthen von 100, 200, 500, 1000 u. s. w. ausgedrückt werden könne, zur grossen Bequemlichkeit bei mikrometrischen Bestimmungen durch die verschiedenen zur Projection des Bildes dienenden Hülfsmittel (S. 516). Fünftens endlich wird durch eine solche Einrichtung die Benutzung reflectirender Prismen erleichtert, die man temporär in die Bahn der Strahlen bringen kann, damit diese unter Winkeln von 90°, 60° oder 45° fortgehen.

Nicht so gewichtig ist das Anbringen einer Concavlinse zwischen Objectiv und Ocular, das man jetzt bei manchen Optikern antrifft. Wir haben übrigens gesehen, dass dieses Mittel, die Vergrösserung ansehnlicher zu machen, schon vor länger als einem Jahrhundert in Gebrauch gewesen ist; doch hat man neuerer Zeit eine achromatische planconcave Linse genommen. Ueber ihre Wirkung kann ich aus eigener Erfahrung nichts angeben. Dass sie unter besonderen Umständen von Nutzen sein könne, ist früher (§. 160) dargethan werden; indessen bezweifele ich, ob sie nicht in den meisten Fällen eher schaden als nutzen wird. Mohl, der die Sache eigends geprüft hat, räth von ihrer Anwendung ab.

447 Wir müssen hier auch des Vorschlags von Barfuss (Schumacher's Astron. Nachrichten 1843. XX, S. 17 u. 39. Poggend. Annal. 1846. Bd. 68, S. 88) gedenken, der, aus theoretischen Gründen und auf Berechnungen sich stützend, in das Rohr des zusammengesetzten Mikroskops ein Correctivglas bringen will, bestehend aus einer planconvexen und einer

planconcaven Linse von gleichen Krümmungen, deren gerade Flächen dem Objective zugekehrt sein sollen. Die Vergrösserung erfährt dadurch gar keine Aenderung; es hat dieses Correctivglas einzig und allein die Bestimmung, die letzten Reste der sphärischen Aberration zu beseitigen, und deshalb muss es innerhalb des Rohrs so lange auf- und niedergeschoben werden, bis man den Ort gefunden hat, wo es den besten Erfolg gewährt. Hierbei ist Barfuss offenbar von der Ansicht ausgegangen, in einem achromatischen Objective sei wesentlich nur die chromatische Aberration verbessert. Wir haben indessen früher (§§. 63, 127 u. 159) gesehen, dass auch die sphärische Aberration verbessert wird, und zwar ebensowohl durch die Verbindung einer Flintglaslinse mit einer Kronglaslinse, als durch die Vereinigung von zwei oder mehr solchen Doppellinsen zu einem Systeme, ja dass es selbst zur Ueberverbesserung kommen kann, wie das wirklich bei jenen Objectiven in unseren zusammengesetzten Mikroskopen der Fall ist, wo die entgegengesetzten Aberrationen des Objectivs und des Oculars einander wechselseitig aufheben. Dem ist es wohl zuzuschreiben, dass der Vorschlag von Barfuss, dessen theoretische Begründung nicht bezweifelt werden kann, bei der praktischen Ausführung durch Nobert (Poggend. Annal. Bd. 67, S. 184) nur ungünstige Resultate lieferte. Dies konnte auch nicht anders sein, da überverbesserte Objective benutzt wurden. Hat nun aber auch Barfuss*) übertriebene Erwartungen von seiner Methode gehegt, so lässt sich doch nicht läugnen, dass dieselbe eine nähere Prüfung wohl verdient und dass sie in besonderen Fällen sich vortheilhaft bewähren kann.

Ein also zusammengesetztes Correctivglas wird z.B. das Mittel bieten, den Einfluss der Deckplättchen zu hemmen. Nur die Erfahrung wird lehren können, ob dieses Verfahren den Vorzug verdient vor den beiden anderen, die jetzt im Gebrauch sind, und die ihrerseits wiederum genau mit einander verglichen und geprüft werden müssen, bevor man darüber entscheidet, welche von diesen Verfahrungsweisen die meisten Vortheile bietet. Das Verfahren von Ross, der die Entfernung der untersten Linse von den beiden anderen zum Objective gehörigen Linsen verändert, ist sicherlich einfacher als jenes von Amici, wobei eine grös-

---

*) Barfuss glaubt, mit Hülfe seines Correctivglases müsse das vom Objective erzeugte Bild so scharf und klar werden, dass man ziemlich das ganze Vergrösserungsvermögen des Mikroskops ins Ocular verlegen könne. Sein berechnetes Objectiv vergrössert nur 5 Mal, und doch soll man mit Hülfe der Oculare eine 200malige Vergrösserung bekommen. Das darf man unbedenklich zu den Chimären zählen! Auch verräth es einen offenbaren Mangel praktischer Kenntniss des Mikroskops, wenn Barfuss (S. 45) sagt: „Doppelobjective von $^1/_{18}$ Zoll Brennweite und einem Oeffnungswinkel von 65°, wie sie in England verfertigt worden sein sollen, gehören gewiss zu den schlechtesten dioptrischen Machwerken.“ Was soll man dann von Objectiven sagen, die einen bei weitem mehr als doppelt so grossen Oeffnungswinkel haben, wie man sie jetzt verfertigt, und die man mit vollem Rechte als den Triumph der Kunst ansieht?

sere Anzahl achromatischer Linsen erforderlich ist, und mit der von Smith darin eingeführten Verbesserung scheint es in gleicher Weise wie das Amici'sche bei Deckplättchen von sehr verschiedener Dicke Anwendung finden zu können. Mit Bestimmtheit darf man aber behaupten, dass jedes Mikroskop unvollkommen ist, bei dem auf diesen Einfluss der Deckplättchen keine Rücksicht genommen wird, und dass dieser Einfluss in dem Maasse, als die beiden Aberrationen vollständiger aufgehoben sind, nur um so merklicher hervortritt. Mit einem Amici'schen Objective von 8,7 Millimeter Brennweite, mit dem die achte Gruppe des Nobert'schen Probetäfelchens noch ganz deutlich unterschieden wird, sobald ein Deckplättchen von 1 Millimeter Dicke aufliegt, erkennt man nur noch die Striche der fünften Gruppe, sobald dieses Plättchen entfernt wird. Bei weniger vortrefflichen Objectiven fällt diese Differenz allerdings geringer aus; indessen nie soll man nach nur Mittelmässigem streben.

448 Endlich kann sich noch die Frage aufdrängen, ob für den verschiedenen Aberrationszustand der Augen verschiedener Personen am Mikroskope keine Verbesserungsmittel angebracht werden sollen. Das Auge und das Mikroskop zusammen bilden ein optisches Ganzes, und da unzweifelhaft das Auge nicht vollkommen aplanatisch ist, so darf man es für mehr als wahrscheinlich halten, dass in dieser Beziehung Verschiedenheiten zwischen dem Auge des einen und des andern vorkommen, und somit auch der nämliche Aberrationszustand im Mikroskope nicht auf alle Augen den nämlichen Einfluss üben wird. In der That kann man hin und wieder bei schwer wahrnehmbaren Einzelnheiten beobachten, dass der eine nichts mehr davon wahrnehmen kann, während der andere, der doch durch das nämliche Mikroskop sieht, dieselben noch gleich gut erkennt. Man kann dies nicht dem verschiedenen Accommodationszustande der Augen beider Beobachter zuschreiben, dem ja durch feine Einstellung begegnet werden könnte, noch auch der grössern oder geringern Empfindlichkeit der Netzhaut, da man die Sache bei Personen beobachtet, die einander in der Gesichtsschärfe unter gewöhnlichen Umständen nichts nachgeben. Wahrscheinlich muss man also dabei an eine grössere oder geringere Uebereinstimmung zwischen dem Auge und dem Mikroskope denken, vermöge deren die in beiden vorkommenden entgegengesetzten Aberrationen bei dem einen Individuum sich gegenseitig vollkommener aufheben als bei dem andern. Amici hat schon daran gedacht (S. 725); indessen unterliegt es wenigstens dem Zweifel, ob das Umdrehen der ganzen Mikroskopröhre um ihre Axe für diesen Zweck ausreichen wird. Wahrscheinlicher ist es, dass hier ähnliche Mittel helfen werden, als die, wodurch man den Einfluss der Deckplättchen beseitigt; in diesem Falle müsste dann ein geringer Unterschied in der Dicke der Deckplättchen für verschiedene Augen eingehalten werden, was oftmals ausreichen müsste, das Gleichgewicht herzustellen.

Das beweist aber wiederum, wie nöthig es ist, dass jeder sein eigenes Mikroskop studirt und sich nicht ohne Weiteres auf die vom Optiker gegebenen Anweisungen verlässt. Diese können zwar für das eigene Auge vollkommen richtige sein, sind es aber vielleicht nicht in gleichem Maasse für das Auge eines andern.

Wenn auch angenommen werden muss, dass das optische Vermögen 449
der zusammengesetzten Mikroskope immer noch einer bedeutenden Verbesserung fähig ist, so steht es doch anders mit deren mechanischer Einrichtung. Für die Untersuchungen wenigstens, wozu das Mikroskop gegenwärtig benutzt wird, ist die mechanische Einrichtung, welche die meisten Optiker ihren Instrumenten geben, vollkommen ausreichend. Man trifft sogar an manchen Gestellen, namentlich an englischen, einen Luxus von allerlei künstlichen Bewegungsmitteln an, die ganz sinnreich ausgedacht und meisterhaft ausgeführt sind, meistens aber als überflüssige Verfeinerungen gelten können.

Ueber die Haupterfordernisse eines guten Gestells für das zusammengesetzte Mikroskop habe ich mich schon früher (§. 166) ausführlich ausgesprochen. Im Allgemeinen, darf man annehmen, entsprechen die in den letzten Paragraphen dieses Abschnitts beschriebenen Gestelle diesen Anforderungen mehr oder weniger vollständig. Eine Uebersicht darüber, wie der eine auf diese Weise, der andere auf jene Weise die Sache ausgeführt hat, würde sich aber ohne viele Wiederholungen nicht geben lassen; zudem habe ich auch hier und da kurz angegeben, inwiefern diese oder jene Einrichtung als zweckmässig oder unzweckmässig zu erachten ist.

Vielleicht erwartet mancher Leser, am Ende dieser Beschreibung des zusammengesetzten Mikroskops sollte ich mich über jene unter den gegenwärtigen Optikern aussprechen, deren Instrumenten ich vor denen der übrigen den Vorzug einräume. Indessen enthalte ich mich eines solchen Urtheils, da es nicht durchaus ein ganz gerechtes würde sein können, und ich muss sogar hier darauf dringen, dass man aus den früheren Resultaten, zu denen ich durch die Untersuchung verschiedener Mikroskope gelangte, keinen voreiligen Schluss ziehe über die Stufe, bis zu welcher sich die betreffenden Optiker in ihrer Kunst erhoben haben. Nur dann würde das Urtheil auf einer gerechten Basis ruhen, wenn Instrumente mit einander verglichen würden, die zur nämlichen Zeit aus den Werkstätten der verschiedenen Optiker kamen, und selbst dann darf man es als wahrscheinlich erachten, dass bei der Vergleichung zweier Instrumente aus einer spätern Zeit sich andere Resultate herausstellen werden.

Wenn auch die Optiker ein mehr oder weniger gleichbleibendes Modell für ihre Gestelle gewählt haben, so dass ihre Instrumente in der äussern Form und in der Einrichtung des Ganzen einander immer gleichen, so steht es doch anders mit der optischen Einrichtung. Diese sucht

ein jeder mehr und mehr zu vervollkommnen, so dass die Miroskkope, welche in Zwischenräumen von mehreren Jahren aus der nämlichen Werkstatt kommen, im optischen Vermögen immer einen viel grössern Unterschied erkennen lassen, als jene, welche von verschiedenen Optikern zu der nämlichen Zeit geliefert wurden. Dem ist es theilweise zuzuschreiben, dass verschiedene Beobachter über Mikroskope, die aus der nämlichen Werkstatt gekommen waren, so ganz verschieden urtheilen. Es kommt noch hinzu, dass die meisten sehr geneigt sind, jenem Mikroskope bestimmt vor anderen den Vorzug zu geben, woran sie sich seit geraumer Zeit gewöhnt haben, was auch ganz natürlich ist, da jeder sein Instrument am besten kennt, so dass er schon aus diesem Grunde allein besser durch dasselbe beobachten wird, als durch ein anderes, dessen Vorzüge und Mängel er noch nicht kennt. Dreist darf aber behauptet werden, dass, wenn auch nicht alle Werkstätten im gegenwärtigen Augenblicke auf gleiche Linie gestellt werden können, der Unterschied gleichwohl nicht gar auffallend ist, oder mit anderen Worten, bei weitem die meisten Forschungen, welche die mikroskopische Hülfe erfordern, lassen sich mit unseren neuern aplanatischen Mikroskopen, welcher von den bekannten und oben genannten Optikern sie auch verfertigt haben mag, ziemlich mit dem gleichen Grade von Sicherheit und Genauigkeit durchführen. Nur für einzelne Fälle, z. B. bei den Forschungen über die Entwickelungsgeschichte der organischen Elementartheile, ist der höchste Grad der optischen Vollkommenheit, der bis jetzt erreicht wurde, wünschenswerth.

Zum Schlusse will ich hier noch darauf hinweisen, welche grosse Menge von Mikroskopen geliefert worden ist, seitdem man sie aplanatisch zu machen gelernt hat. Von 1836 bis 1848 haben in London Ross, Powell und Smith, abgesehen von den kleineren Instrumenten, 836 grosse zusammengesetzte Mikroskope verkauft (Quekett l. l. p. 46). Späterhin hat diese Production noch zugenommen nach einer an die *Microscopical Society* erstatteten Mittheilung von G. Shadbolt (*Quart. Journ.* 1857. XIX, p. 241), der zu Folge diese drei ersten Optiker Londons nur allein im Laufe des Jahres 1856 zusammen 217 grosse Instrumente abgegeben haben, Smith aber ausserdem auch noch 175 kleinere, zusammen also 392. Aus den Werkstätten von vier anderen Mikroskopverfertigern, nämlich Salmon, Amadio, Ladd, Pillischer, seien ausserdem noch 115 grosse und 243 kleine Mikroskope hervorgegangen. Somit würde die Gesammtzahl der während eines Jahres in London verfertigten und verkauften Mikroskope mindestens 750 betragen, da, wie Shadbolt selbst zugiebt, in dieser Aufzählung gar viele noch nicht mit begriffen sein werden. Eben so wurden 1857 von Powell, Ross und Smith in London 385 Mikroskope abgegeben, also fast gleich viel wie 1856 (*Quart. Journ.* Apr. 1858. p. 75).

Weiter oben sahen wir bereits, dass vor einigen Jahren Oberhäuser allein binnen 16 Monaten 236 Mikroskope lieferte. Nach einer

mündlichen Mittheilung liefert Nachet gegenwärtig im Mittel 200 Mikroskope im Jahre. Die oben genannten neun Optiker produciren somit gut 1100 Mikroskope im Jahre. Nun bestehen neben ihnen noch 16 bis 18 Werkstätten in Europa, in denen auch Mikroskope verfertigt werden, und wenn auch in den meisten derselben, da sie sich nicht ausschliesslich mit Mikroskopen beschäftigen, diese Production gewiss eine geringere ist, so wird man doch zuverlässig unter der Wahrheit bleiben, wenn man annimmt, dass jährlich 2000 aplanatische Mikroskope verfertigt und verkauft werden.

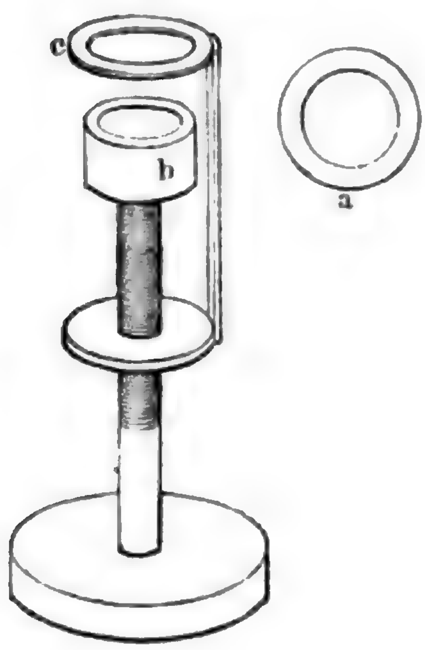
Welch ein Gewinn für die Wissenschaft, wenn mit jedem dieser Mikroskope auch nur Eine neue Entdeckung ausgeführt würde!

Sechster Abschnitt.

Das einfache katoptrische Mikroskop.

450 Dass die Alten bisweilen die vergrössernde Kraft der Hohlspiegel benutzt haben, ist weiter oben (S. 578) erzählt worden. Zum ersten Male finden wir aber in der letzten Hälfte des 17. Jahrhunderts eine Art Mikroskop erwähnt, zu dem ein Hohlspiegel benutzt wurde. Bei Zahn (*Oculus artificialis.* Herbip. 1685. Fund. III, p. 113) ist ein solches Instrument beschrieben; ein Hohlspiegel nämlich steckt in einem vierseitigen hölzernen Kasten, der mit einer Oeffnung versehen ist, wodurch man die vor dem Spiegel befindlichen Objecte vergrössert sieht. Es gehörte zur sogenannten *Microscopia curiosa* und diente dazu, Bilder oder andere grosse Objecte, wie Blumen und dergl., vergrössert darzustellen. Zahn giebt aber selbst an, dass schon früher Gervasius Mattmüller, den er als *Opticus Caesareus* bezeichnet, desgleichen P. Traber, der Verfasser des im Jahre 1675 erschienenen *Nervus opticus*, dergleichen Instrumente verfertigt hatten.

Fig. 324.



Katoptrisches Mikroskop von Gray.

Später hat dann Stephen Gray (*Philos. Transact.* 1697. p. 541) eine concave spiegelnde Oberfläche als Mikroskop angewandt und zwar auf die zweckmässige Weise, welche in Fig. 324 dargestellt ist. Er nahm einen kleinen Messingring *a*, der innen einen Durchmesser von höchstens $^1/_{10}$ Zoll hatte. Diesen Ring bestrich er mit einer Auflösung von salpetersaurem Quecksilber, und weiterhin brachte er einen Tropfen Quecksilber darauf. Der Ring mit dem umschlossenen Quecksilbertropfen

kam alsdann auf den Rand eines kleinen hohlen Cylinders *b*, wodurch der anfangs biconvexe Tropfen eine concave spiegelnde Fläche bekam, so dass ein in gehöriger Entfernung befindlicher Gegenstand sich stark vergrössert darstellte. Zur Aufnahme des Objects diente eine kleine durchbohrte Platte *c*, die an dem genannten Cylinder mittelst eines Stäbchens befestigt war und durch eine Schraube höher und niedriger gestellt werden konnte. So richtig dieses Instrument auch ausgedacht war, gleichwohl vermochte es nur wenig zu leisten, weil sich die Objecte natürlich nur in sehr unvollkommener Beleuchtung darstellen konnten.

Besser ist dafür gesorgt bei einem katoptrischen Mikroskope, welches ein Venetianer Selva im Jahre 1769 der französischen Akademie anbot (*Hist. de l'Acad.* 1769. p. 129), und wo der Hohlspiegel von 6 Linien Brennweite in eine grosse Glaslinse eingeschlossen war, die bloss den Zweck hatte, das Object zu beleuchten. Die Beschreibung ist ganz kurz, aber ausdrücklich wird angegeben, es sei ein rein katoptrisches Mikroskop gewesen. Santini (*Teorica degli Stromenti ottici*, II, p. 197) erwähnt, dass Selva's Sohn in seinen *Dialoghi ottici*. Venez. 1787 erzähle, sein Vater habe schon 1740 ein Gregorianisches Teleskop in ein recht gutes Mikroskop umgeändert, dessen Beschreibung er im Jahre 1761 gab, und später habe er es in der vereinfachten Form der französischen Akademie angeboten.

Weiterhin scheint man sich nicht mehr auf die Anfertigung einfacher katoptrischer Mikroskope verlegt zu haben. Auch bringt es ihre Einrichtung mit sich, dass sie kaum zu etwas anderem zu gebrauchen sind, als um dem Beobachter Gelegenheit zu geben, seine eigenen Augen bei einer stärkern Vergrösserung zu betrachten, wozu sich doch selten Veranlassung finden wird. Zu Untersuchungen eignen sich Linsen im Allgemeinen weit besser; denn dass bei Hohlspiegeln die Farbenzerstreuung fehlt, das vermag die vielen mit ihrer Anwendung verbundenen Uebelstände noch nicht aufzuwiegen.

Siebenter Abschnitt.

Das katadioptrische Mikroskop.

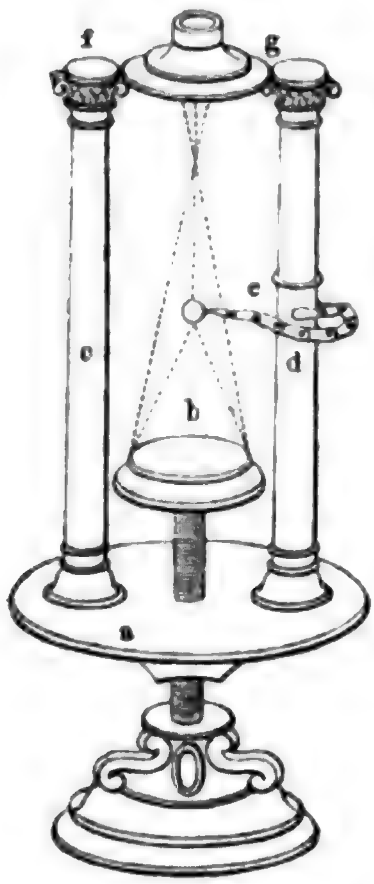
451 Die früher beschriebenen Mängel der zusammengesetzten dioptrischen Mikroskope und die Schwierigkeit, sie zu verbessern, waren Veranlassung, dass man zum Ersatze des dioptrischen Objectivs seine Zuflucht zu katoptrischen Hülfsmitteln nahm.

Man weiss, dass Newton einer der ersten war, der reflectirende Fernrohre anwandte, wenngleich als erster Verfertiger eines Spiegelteleskops Nicolas Zucchius (*Optica philosophia*. Lugd. 1652, p. 126) zu nennen ist, dessen Versuche bis zum Jahre 1616 zurückreichen. Newton kam nun aber auch zuerst auf den Gedanken, ein katadioptrisches Mikroskop herzustellen (*The Life of Sir Isaac Newton by Brewster*, p. 311). In zwei Briefen vom Jahre 1679 an Oldenburg, den Secretair der *Royal Society*, sprach er sich darüber aus, wie ein solches Instrument eingerichtet sein müsste. Man erfährt aber nicht, ob es von ihm selbst oder unter seiner Aufsicht zur Ausführung gekommen ist. Newton's Zweck ging einfach dahin, statt des Objectivglases im zusammengesetzten Mikroskope einen concaven Spiegel zu benutzen, dessen Concavität nach oben sah. Ausserdem sollte das Object in die gehörige Entfernung vom Spiegel kommen und vermittelst eines Oculars weiter vergrössert werden. Vom dioptrischen zusammengesetzten Mikroskope unterschied sich diese Einrichtung wesentlich darin, dass das erste Bild nicht durch ein einfaches dioptrisches Mikroskop zu Stande kam, sondern durch ein einfaches katoptrisches Mikroskop. Da nun das so entstandene Bild der chromatischen Aberration nicht unterworfen war, so musste es schärfer begrenzt sich darstellen, als das Bild im zusammengesetzten dioptrischen Mikroskope.

Wirklich sind Mikroskope nach dieser Anweisung Newton's gefertigt worden, doch habe ich nicht nachkommen können, von wem und zu welcher bestimmten Zeit. Die Abbildung und Beschreibung eines sol-

chen findet sich in dem schon mehrgenannten Vollständigen Lehrgebäude der ganzen Optik, S. 369, Tab. II, Fig. 7, wo sie aus der im Jahre 1726 erschienenen dritten Ausgabe von Bion's mathematischer Vorschule aufgenommen worden ist. Die ganze Einrichtung ist in Fig. 325 dargestellt. Durch ein Fussstück *a* geht eine Schraube, auf welcher der Hohlspiegel *b* befestigt ist, der somit höher und niedriger gestellt werden kann. Auf dem Fussstücke stehen ferner zwei Stangen oder Säulen *c* und *d*, eine davon mit einem kleinen beweglichen Arme *e* versehen, der in eine Spitze ausläuft, womit das Object angestochen werden kann. Die beiden Säulen sind durch eine Scheibe *fg* vereinigt, in deren Mitte sich das Ocular befindet. Dass diese Einrichtung eine ganz unvollkommene war, da selbst nicht einmal eine Röhre benutzt wurde, um das überflüssige Licht abzuhalten, sieht man auf der Stelle ein.

Fig. 325.



Altes katadioptrisches Mikroskop.

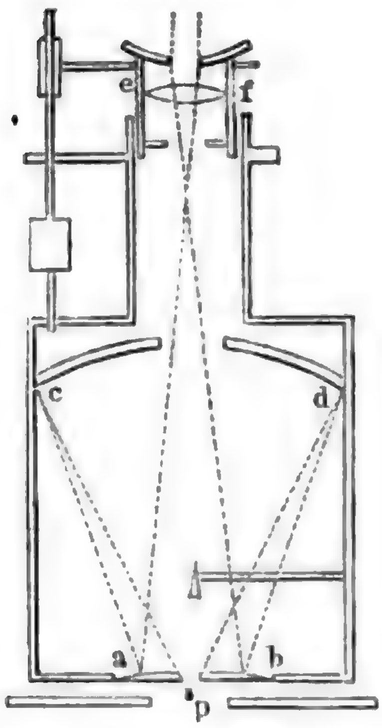
Robert Barker (*Philos. Transact.* 1736, p. 259) erfand 1736 eine andere Einrichtung eines katadioptrischen Mikroskops, die von Scarlet nach seiner Anweisung ausgeführt wurde. Dasselbe bestand aus zwei Hohlspiegeln, einem grössern in der Mitte durchbohrten und einem kleinern, der dazu bestimmt war, die vom Objecte auf den grossen Spiegel geworfenen und von da reflectirten Strahlen aufzufangen und durch die Oeffnung des grossen Spiegels nach dem Oculare zu bringen, welches aus zwei Gläsern bestand und zur Wahrnehmung des vergrösserten Bildes diente. Der kleinere Spiegel befand sich in der Axe eines Rohrs, welches sich in einem zweiten weitern Rohre bewegte. Mittelst einer Schraube konnten diese Röhren über einander verschoben werden, um den richtigen Abstand zwischen den beiden Spiegeln heraus zu bringen. Das ganze Instrument stand auf einem Fusse, wie ein Gregorianisches Teleskop, womit auch die ganze Einrichtung viele Aehnlichkeit hatte *). Ein besonderer Objecttisch oder sonst eine Vorkehrung, um das Object darauf zu legen, fand sich nicht daran. Die Brennweite betrug 9 bis 24 Zoll.

Durch diese grosse Brennweite gehörte das hierher gehörige Instrument eher zu den schon genannten mikroskopischen Fernrohren, als zu

*) Barker selbst sagt in der Beschreibung, sein Instrument sei nach dem Muster des Newton'schen Teleskops ausgeführt; das ist aber offenbar falsch. Dass Selva vier Jahre nach Barker ein solches Mikroskop hergestellt haben soll, wurde vorhin angeführt.

den eigentlichen Mikroskopen, und somit war nur wenig von demselben zu erwarten. Eine zweckmässigere Einrichtung hatte das im Jahre 1738 erfundene katadioptrische Mikroskop von Smith in Cambridge (*System of Opticks.* II. Remarks p. 87), welches Fig. 326 im Durchschnitte dargestellt ist. Es bestand ebenfalls aus zwei übereinander gestellten Spiegeln *ab* und *cd*, von denen der untere convex, der obere concav war. In der Mitte waren sie durchbohrt; die Krümmungen aber waren so berechnet, dass die sphärische Aberration wegfiel. Kam das Object *p* bei gewöhnlicher Beleuchtung unter den untern Spiegel, so entstand durch Reflexion der beiden spiegelnden Oberflächen ein vergrössertes Bild desselben, welches durch das biconvexe Ocular *ef* wahrgenommen wurde. Die Vergrösserung war eine 300fache. Wie sich Barker das Gregorianische Teleskop zum Vorbilde genommen hatte, so stand Smith offenbar das Cassegrain'sche Teleskop vor Augen. Brewster (*Treatise on the Microscope.* 1832, p. 83), der ein nach diesem Principe verfertigtes Instrument untersuchen konnte, bemerkt darüber, es bewähre sich ausnehmend gut, und die Striche auf manchen Probeobjecten könne man damit ganz scharf sehen.

Fig. 326.



Katadioptrisches Mikroskop von Smith.

Mit der Herstellung katadioptrischer Mikroskope scheint sich auch B. Martin beschäftigt zu haben, denn in seinen im Jahre 1770 erschienenen *Optical Essays*, die ich aber nicht kenne, kommt eine Abhandlung vor: *On the use of the reflecting telescope as an universal perspective for viewing every sort of objects.* In seiner *Philosophia Britannica*, 2. Ed. 1759, p. 49, werden übrigens nur die schon früher bekannten Einrichtungen von Newton und Smith genannt. Nach dem Titel der ebengenannten Abhandlung zu urtheilen, scheint aber Martin nur ein katadioptrisches Instrument im Auge gehabt zu haben, das sich ebenso als Teleskop wie als Mikroskop brauchen liess, gleichwie seine polydynamischen Mikroskope.

Katadioptrische Mikroskope von ähnlicher Zusammensetzung wie jene von Smith sind noch in neuerer Zeit in Friesland verfertigt worden von dem in Hallum gebornen S. J. Rienks, einem mechanischen Genie, wie man sie in Friesland nicht selten findet. Ohne eine Unterweisung in der Naturkunde und Mechanik erhalten zu haben, hatte sich dieser Mann in Verbindung mit einem andern Friesen Roelofs auf die Anfer-

tigung optischer Instrumente gelegt. Ihre zwei Spiegelteleskope von 13 Fuss Länge auf der Haarlemer Ausstellung im Jahre 1825 fanden verdiente Anerkennung. Auf der friesländischen Ausstellung zu Leeuwarden im Jahre 1844 befanden sich ausser einigen dioptrischen Mikroskopen auch vier katadioptrische Mikroskope von Rienks, von denen die Commission angiebt, bei recht hellem Lichte gestatteten sie die Anwendung einer starken Vergrösserung und für undurchsichtige Objecte dürfte ihnen von anderen Mikroskopen wohl kaum der Rang abgelaufen werden. Die Commission legte ihrer Vergleichung ein aplanatisches Chevalier'sches Mikroskop von 1829 zu Grunde. Für durchsichtige Objecte gab sie dem letztern den Vorzug; für undurchsichtige Objecte dagegen und für die Betrachtung bei auffallendem Lichte schienen ihr die Spiegelmikroskope von Rienks den Vorzug zu verdienen.

Es ist schwierig, katadioptrische Mikroskope herzustellen und den Glanz der Spiegel ungeschmälert zu erhalten; das scheint auch der Grund gewesen zu sein, weshalb sie niemals in allgemeinen Gebrauch gekommen sind. Als indessen die Versuche, achromatische dioptrische Mikroskope herzustellen, zuerst fehlschlagen zu wollen schienen, unternahm auch Amici (*Memoria di Microscopi catadiottrici.* Modena. 1818. S. Gilbert's Annalen. 1820. Bd. 66, S. 253) die Herstellung katadioptrischer Mikroskope, die mehrere Jahre hindurch eines verdienten Rufes sich erfreuten. 452

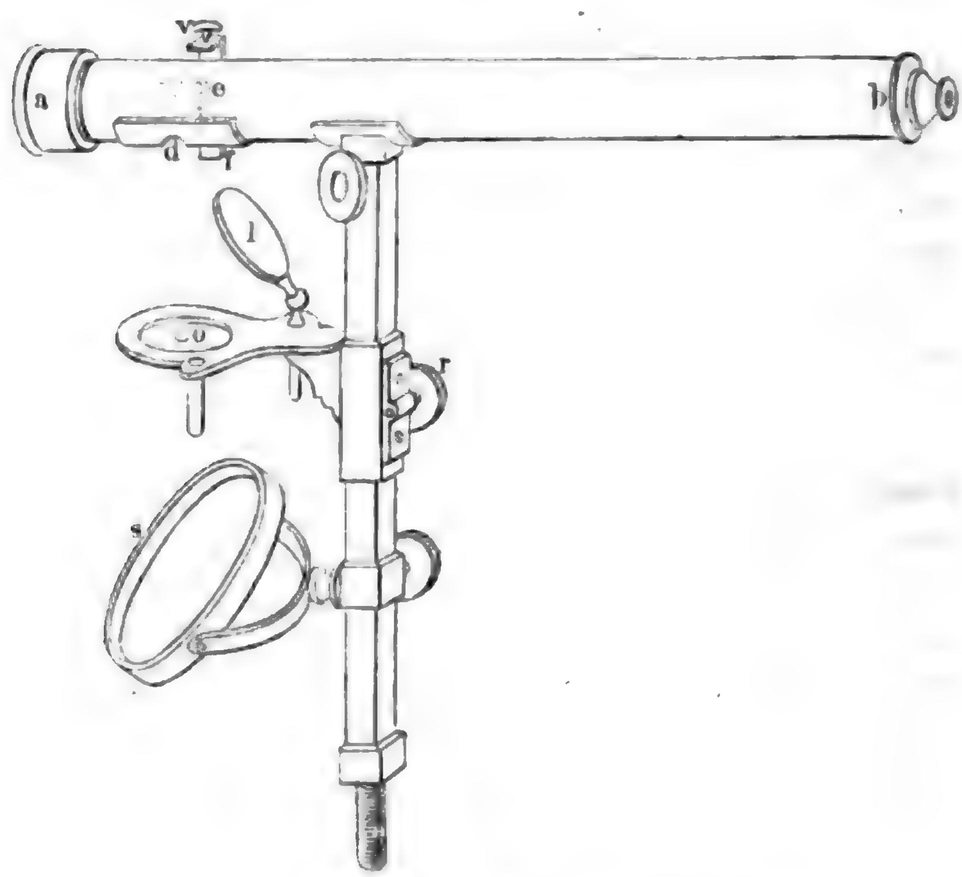
Schon früher (§. 171) ist in theoretischer Beziehung über dieses Mikroskop gehandelt worden. In Fig. 327 a. f. S. ist es so dargestellt, wie es Amici verfertigte. Das Mikroskoprohr *ab* enthält bei *a* einen elliptischen concaven Metallspiegel, bei *b* das Ocular; es hat 12 Zoll Länge und 1,1 Zoll Durchmesser. Der Spiegel hat ebenfalls 1,1 Zoll Durchmesser; er ist von dem nähern Brennpunkte 2,6 Zoll, von dem entfernten 12 Zoll entfernt. Die Ellipse, welcher der Spiegel als Theil angehört, hat daher folgende Maasse:

Halbe grosse Axe	= 7,300	engl. Zoll
Halbe kleine Axe	= 4,274	» »
Excentricität	= 0,644	» »

An dem innerhalb des Rohrs befindlichen kleinen Stifte *e* ist ein eirundes Spiegelchen befestigt und zwar unter einem Winkel von 45°; es ist der schiefe Durchschnitt eines Metallcylinders von $^1/_2$ Zoll Durchmesser. Seine Entfernung von der Mitte des grossen Spiegels beträgt 1,5 Zoll. Das Rohr hat gerade unter dem kleinen Spiegel eine Oeffnung *d* zum Durchtritte der Lichtstrahlen, welche von dem auf dem Objecttische befindlichen Objecte *o* kommen. Der Objecttisch lässt sich durch einen Trieb, wozu der geränderte Knopf *r* gehört, an der vierseitigen Stange, worauf das Mikroskoprohr ruht, auf- und niederschieben. Die gewöhn-

liche Entfernung, in der sich die Objecte von der Oeffnung *d* befinden müssen, beträgt nicht ganz einen Zoll. Die Beleuchtung wird bei durchfallendem Lichte durch den concaven Glasspiegel *s* bewirkt, bei auffal-

Fig. 327.



Katadioptrisches Mikroskop von Amici.

lendem Lichte durch die Linse *l*, oder durch ein kleines (nicht mit abgebildetes) concaves Spiegelchen, welches an die Schraube *v* unten bei *f* befestigt wird und eine Oeffnung für die Lichtstrahlen hat, welche von den Objecten kommen und durch die Oeffnung *d* in das Rohr treten. Die verschiedenen Vergrösserungen werden durch Wechseln der Oculare zu Stande gebracht. Die stärkste Vergrösserung ist 1000 Mal.

Es muss sich dieses Mikroskop durch grosse Helligkeit und Schärfe ausgezeichnet haben, zumal wenn man die damaligen zusammengesetzten dioptrischen Mikroskope damit vergleicht. Da aber die Tüchtigkeit eines solchen katadioptrischen Mikroskops ganz und gar auf der genau elliptischen Form des Spiegels beruht, so kann es nicht Wunder nehmen, dass es Anderen, die dieses Mikroskop später nachmachten, nicht gleich gut gelang wie Amici, so z. B. Ch. Chevalier, der früherhin seinem grossen horizontalen Mikroskope (Fig. 286) das Rohr eines ganz nach Amici'schem Muster hergestellten katadioptrischen Mikroskops beifügte, welches statt des dioptrischen Mikroskops aufgeschraubt werden konnte. Ein solches Instrument vom Jahre 1829 schien mir aber ganz mangelhaft zu sein; die meisten Probeobjecte wurden damit kaum viel besser

wahrgenommen, als mit einem zusammengesetzten dioptrischen Mikroskope mit gewöhnlichen nicht achromatischen Objectiven.

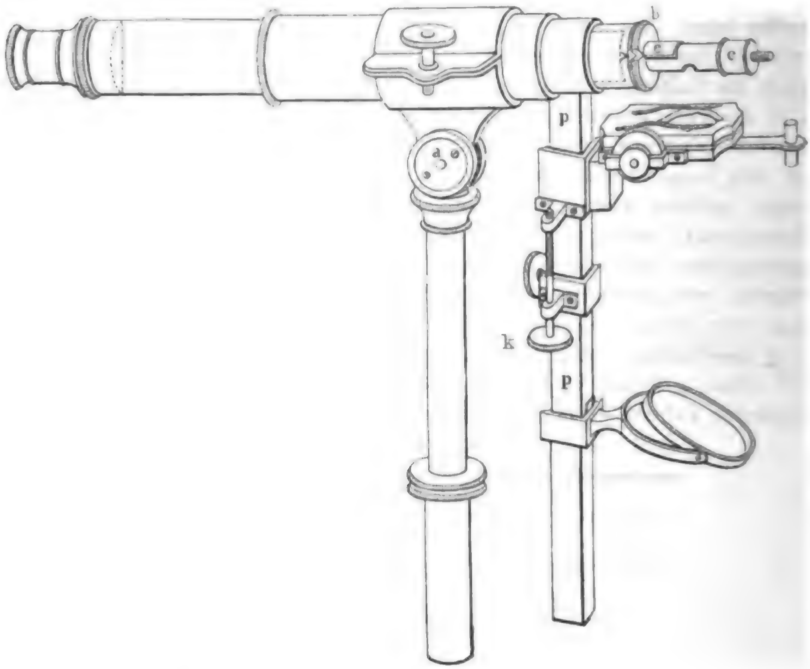
Indessen hat später Cuthbert in England den Beweis geliefert, dass man Amici nicht blos nachkommen, sondern ihn auch noch übertreffen kann. Im Jahre 1837, wo das zusammengesetzte dioptrische Mikroskop durch die aplanatischen Objectivsysteme bereits zu einer hohen Stufe der Vollkommenheit gelangt war, beschrieb Goring (*Micrographia*, p. 1) als Amici's reflectirendes Engyskop ein Instrument, das Pritchard nach seiner Anleitung verfertigt hatte, wozu aber von Cuthbert, der sich lange mit der Anfertigung Gregorianischer Teleskope beschäftigt hatte, mehrere metallene Objectivspiegelchen geschliffen wurden. Der Hauptpunkt, worin sich dieses katadioptrische Mikroskop vom ursprünglichen Amici'schen unterschied, war der, dass das katoptrische Objectiv mit anderen von anderer Brennweite vertauscht werden konnte, ganz wie bei den dioptrischen Objectiven. Auch hatten die von Cuthbert geschliffenen elliptischen Spiegelchen eine weit kürzere Brennweite und einen grössern Oeffnungswinkel als die Amici'schen, wie man aus folgender Tabelle der katoptrischen zugehörigen Objective ersieht:

Objective.	Brennweite.		Oeffnungswinkel.
	E. Zoll.	Millim.	
Nr. 1	2	(50,8)	$13^3/_4{}^{\circ}$
2	1	(25,4)	$18^1/_2$
3	0,8	(20,3)	$27^1/_2$
4	0,3	(7,6)	$36^1/_2$
5	0,4	(10,2)	$41^1/_4$
6	0,3	(7,6)	55

Das von Pritchard verfertigte Instrument ist Fig. 328 (a. f. S.) dargestellt. Die Mikroskopröhre ruht auf einer runden Säule mit dem Charnier *a* nach oben, damit ihre Neigung verändert werden kann. An der dreiseitigen Stange *p* lässt sich der Spiegel und der Objecttisch auf- und niederschieben und zur feinern Einstellung des letztern dient die Schraube *k*. — In Fig. 329 ist dann ein einzelnes katoptrisches Objectiv in der natürlichen Grösse dargestellt. Bei *c* befindet sich der elliptische Spiegel, bei *d* das kleinere ebene Spiegelchen und darunter die Oeffnung *f*. Das engere Rohr mit den beiden Spiegeln ist an ein weiteres Rohr geschraubt, welches an das Ende des Mikroskoprohrs kommt. Wird das Objectiv nicht gebraucht, dann zieht man das eine Rohr aus, dessen Rand bei *b* gesehen wird, und es kommt der Röhrentheil *e* über die Oeffnung *f*, um den Spiegel zu beschatten.

Zu diesem Gestelle gab Pritchard auch aplanatische Objectivsysteme mit einem darüber befindlichen rechtwinkeligen Prisma, die auf

Fig. 328.

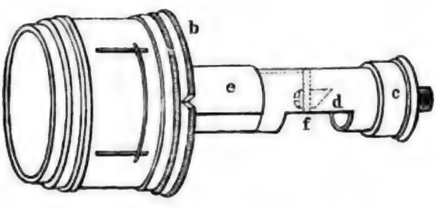


Katadioptrisches Mikroskop von Pritchard.

gleiche Art wie die katoptrischen Objective gebraucht wurden, so dass das Ganze also gleichzeitig ein zusammengesetztes dioptrisches und ein katadioptrisches Mikroskop darstellte.

Auf Pritchard's Preiscourant steht dieses Instrument mit 18 Pfund bis 35 Pfund. Mit dem vollständigen Systeme katadioptrischer Objective, die oben aufgeführt sind, war es aber schon 1837 nicht mehr zu bekommen, weil Cuthbert, der einzige, der bis dahin elliptische Spiegelchen von so kurzer Brennweite verfertigt hatte, in Folge einer Schwächung des Sehvermögens dazu ausser Stand gesetzt war. Ueber das optische

Fig. 329.



Dazu gehöriges katoptrisches Objectiv von Cuthbert.

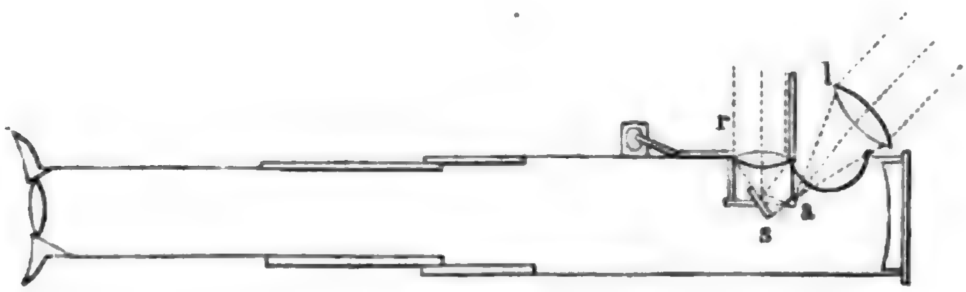
Vermögen dieses katadioptrischen Mikroskops erfahren wir von Goring (*Micrographia* p. 163), dass er mit einem katadioptrischen Objective von 55° Oeffnung und 0,3 Zoll Brennweite alle Arten von Strichen auf den Schüppchen von *Pieris brassicae* mit grosser Deutlichkeit sehen konnte.

Goring bemerkt noch, man könne eine Oeffnung in den elliptischen Spiegel machen und in diese ein schwaches zusammengesetztes dioptrisches Mikroskop bringen, welches dann als Sucher diente, um die Objecte in die Mitte des Gesichtsfeldes zu bringen.

Noch eine Menge andere katadioptrische Mikroskope sind in den letzten 25 Jahren in Ausführung oder doch in Vorschlag gekommen; ich will sie hier noch anführen, so weit sie zu meiner Kenntniss gekommen sind. 453

Im Jahre 1832 beschrieb Pott (*Edinb. Journ. of Sc.* 1832. Nr. II. p. 61) das in Fig. 330 dargestellte Instrument, welches darin von den vorhergehenden abweicht, dass die Objecte in das Mikroskoprohr selbst

Fig. 330.



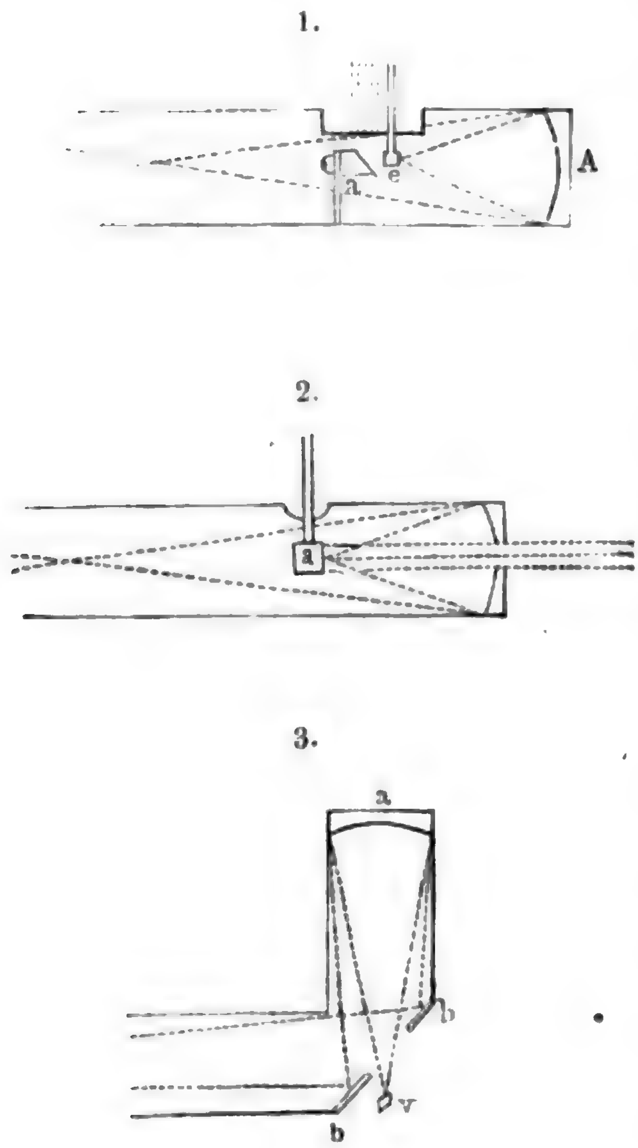
Katadioptrisches Mikroskop von Pott.

(bei *a*) gebracht werden. Die Einrichtung ist eigentlich die nämliche, welche ursprünglich von Newton vorgeschlagen wurde, nur insofern modificirt und verbessert, dass hier die Linse *l* zur Beleuchtung bei auffallendem Lichte angebracht ist, die Linse *r* aber und das ebene Spiegelchen *s* zur Beleuchtung durchsichtiger Objecte dienen. Späterhin hat Pott (*Edinb. Journ.* XII. p. 228) den Spiegel auch elliptisch gemacht und die Art und Weise beschrieben, wie er diese Form erzielte. Nach Brewster (*Treatise.* p. 82) soll dieses Mikroskop sich durch grosse Schärfe und Helligkeit auszeichnen. Die Beschwerlichkeit indessen, die es hat, um die zu beobachtenden Gegenstände in das Rohr hinein zu bringen, wird der praktischen Brauchbarkeit eines solchen katadioptrischen Mikroskops wohl immer Schranken setzen.

Auch William Tulley, der, wie früher erwähnt, zuerst achromatische Objective in England verfertigte, hat mehrere Arten katadiopscher Mikroskope erfunden, deren Beschreibung bei Goring (*Microgra-*

phia. p. 40) zu finden ist. In Fig. 331 sind drei Durchschnitte von jenem Theile des Rohrs, worin die Spiegel enthalten sind, dargestellt; die dabei zu verwendenden Oculare sind auf gewöhnliche Art zusammengesetzt.

Fig. 331.



Katadioptrische Mikroskope von Tulley.

Nr. 1 stimmt ziemlich überein mit dem eben beschriebenen Instrumente Pott's. *A* ist der elliptische Spiegel; bei *e* befindet sich das Object und bei *a* ein kleines Spiegelchen zu dessen Beleuchtung.

Nr. 2 hat einen Spiegel mit einer mittlern Oeffnung, wie beim Gregorianischen Teleskope. Dadurch fällt das Licht direct auf das in *a* befindliche Object. Es passt diese Einrichtung daher nur für Objecte, die bei auffallendem Lichte betrachtet werden. Doch würde es gerade nicht schwer fallen, sie mit der vorigen zu verbinden und den Apparat auch zur Beobachtung durchsichtiger Objecte einzurichten. Uebrigens ist dieses Mikroskop das einzige, womit die Objecte durch senkrecht auffallende parallele Strahlenbündel beleuchtet werden können, während bei allen anderen Beleuchtungsweisen für undurchsichtige Objecte die Strahlen in schiefer oder convergirender Richtung auftreffen, und wenn auch diese letzteren wegen der entstehenden Schatten in der Mehrzahl der Fälle den Vorzug verdienen mögen, so kommen doch ohne Zweifel auch Fälle vor, wo Einzelnheiten gerade bei senkrecht auffallendem Lichte am deutlichsten hervortreten.

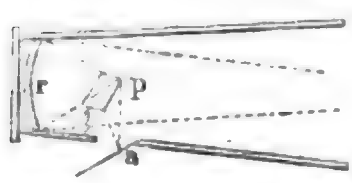
Nr. 2 wie Nr. 1 sind aber in der Beziehung unbequem, dass das Object in das Mikroskoprohr kommen muss. Deshalb verdient die in Nr. 3 dargestellte Einrichtung den Vorzug. Hier befindet sich das Object ausserhalb des Rohrs bei *v* und schickt die Lichtstrahlen auf den elliptischen Hohlspiegel *a*. Von diesem werden sie auf den eirunden ebenen Spiegel *b b* reflectirt, der für die vom Objecte kommenden Strahlen durchbohrt ist; von diesem reflectiren sie aber wieder unter einem Win-

kel von 45° auf das Ocular. Gleichwohl steht auch diese Einrichtung der Amici'schen nach, weil sich ein katoptrisches Objectiv von so kurzer Brennweite, als hierzu erforderlich ist, nur sehr schwer herstellen lässt.

Von Brewster (*Treatise*, p. 91 bis 93) wurden zwei katadioptrische Mikroskope in Vorschlag gebracht, die aber meines Wissens niemals wirklich in Ausführung gekommen sind.

Das in Fig. 332 dargestellte ist eine blosse Modification von Amici, indem statt des kleinen ebenen Spiegels ein kleines achromatisches Prisma *p* in das Rohr kommt, von welchem die vom Objecte ausgehenden Strahlen auf den Spiegel *r* geworfen werden; das Object selbst aber befindet sich auf einer schiefen Unterlage *a*, damit das Licht besser auf dasselbe trifft.

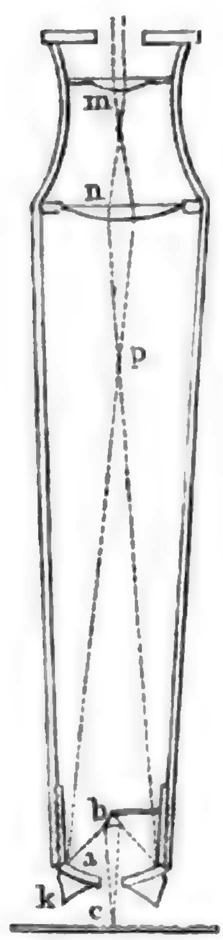
Fig. 332.



Katadioptrisches Mikroskop nach Brewster.

Besseres verspricht übrigens Brewster's zweite Einrichtung, die in Fig. 333 dargestellt ist. Hier ist *a* ein durchbohrter elliptischer Hohlspiegel; *b* ist ein kleiner ebener Spiegel, auf den die Strahlen vom Objecte *c* zunächst fallen und von wo sie auf den elliptischen Spiegel reflectirt werden. Im entfernten Brennpunkte *p* des letzteren erzeugen sie dann das Bild, welches mittelst des Oculars *mn* weiterhin vergrössert gesehen wird. Das Mikroskop steht vertical und deshalb werden durchsichtige Objecte auf gewöhnliche Weise durch einen Spiegel beleuchtet; zur Beleuchtung undurchsichtiger Objecte dagegen dient ein kleines Hohlspiegelchen *k*. In *bak* ist demnach ein katoptrisches Objectiv gegeben, das abwechselnd mit anderen, namentlich auch dioptrischen Objectiven gebraucht werden kann. In der That scheint diese Einrichtung unter allen, die man erdacht hat, die meisten Vorzüge in sich zu vereinigen.

Fig. 333.



Katadioptrisches Mikroskop nach Brewster.

Endlich wurde in England noch vor mehreren Jahren von Guthrie (*Microscopic Journ.* 1841. I. p. 15) eine Modification des Amici'schen Mikroskops vorgeschlagen, die aber von den Vorschlägen von Pott und Tulley nicht sehr abzuweichen scheint. Er hat ebenfalls das ebene Spiegelchen entfernt und das Object in ein Rohr gebracht, zugleich aber jenen Theil des Rohrs, der sich zunächst dem Spiegel befindet, durch drei kleine Säulen ersetzt und an eine davon den Objecttisch

befestigt, der durch eine Schraube dem Spiegel genähert oder entfernter davon gerückt werden kann.

454 In Italien haben sich nach Amici auch noch andere auf die Verfertigung katadioptrischer Mikroskope gelegt, namentlich Cavalleri (*Atti della sesta reunione degli scienziati italiani.* 1845, p. 42, u. Mohl's Mikrographie S. 248) und Barnabita (Notizen a. d. Geb. d. Natur- u. Heilkunde, 1847. Nr. 7, S. 103). Aus den Beschreibungen ihrer Instrumente, von denen sie jedoch keine Abbildungen gegeben haben, ersieht man, dass entweder beide zu gleicher Zeit auf den nämlichen Gedanken gekommen sind, oder dass, was wohl wahrscheinlicher ist, der Letztere Cavalleri benutzt und nur ein paar Veränderungen angebracht hat.

Professor Cavalleri von Monza benutzt einen verticalen Glascylinder von 9 Linien Durchmesser. Die untere Basis des Cylinders, welche gegen das Object sieht und 7 Linien davon entfernt ist, erscheint nach aussen concav; sie besteht aus einer mittlern sphärischen Höhlung (*calotta*), welche von einer andern weniger gekrümmten sphärischen Oberfläche umgeben ist; das Centrum beider liegt in der Axe des Cylinders. Die nach oben befindliche Fläche des Cylinders besteht aus zwei mit einander übereinstimmenden Theilen: eine in der Mitte befindliche schwach gekrümmte Höhlung ist von einer convexen Fläche umgeben. Die Höhlung an der Basis und der hohle Theil der Oberfläche sind mit Stanniol überzogen, so dass erstere einen convexen, der letztere aber einen concaven Spiegel darstellt. Cavalleri giebt selbst an, dass sein Mikroskop nichts anderes ist, als ein nach kleinem Maassstabe ausgeführtes Cassegrain'sches Fernrohr. Er kann es 4 Zoll lang machen und doch noch eine starke Vergrösserung bekommen. Ein vom Object ausgehendes Lichtbüschel beschreibt innerhalb des Glases einen Weg, der aus drei geraden Linien zusammengesetzt ist, und beim Ein- und Austritte findet keine auffallende Brechung statt, da die Strahlen in beiden Fällen auf die Oberflächen ziemlich senkrecht fallen.

Die Beschreibung, welche Barnabita von seinem Mikroskope gegeben hat, stimmt in den Hauptpunkten damit überein. Es ist ebenfalls ein cylindrisches Glas, dessen dem Objecte zugekehrte Grundfläche concav ist; die Krümmung ist von der Entfernung des Objects abhängig. In der Mitte befindet sich eine kleine tiefere Aushöhlung, deren Krümmung durch Berechnung bestimmt wird; sie ist mit Spiegelfolie belegt. Das obere Ende des Cylinders ist convex und ebenfalls mit Folie belegt; die Krümmung muss hier ebenfalls durch Rechnung gefunden werden. In der Mitte dieser Oberfläche befindet sich eine kleine nicht mit Folie belegte Höhle, deren Krümmung bestimmt wird durch die Entfernung des Bildes von jenem, welches durch die vom untersten kleinen Spiegel nach oben reflectirten Strahlen gebildet wird. Das erzeugte Bild wird dann auf gewöhnliche Weise durch ein Ocular mit zwei Gläsern vergrössert betrachtet.

Aus den letzten Zeilen der Beschreibung erhellt der einzige zwischen beiden Mikroskopen vorkommende Unterschied. Cavalleri benutzt seinen Glascylinder mit den zwei spiegelnden Oberflächen wie ein einfaches Mikroskop; Barnabita dagegen hat ein katadioptrisches Objectiv für ein zusammengesetztes Mikroskop daraus gemacht. Offenbar lässt sich das Instrument mit Vortheil auch in weit kleinerer Form darstellen, als es Cavalleri gethan hat.

In einem solchen katadioptrischen Objective nehmen die Strahlen folgenden Weg. Das Object wird durch einen Spiegel auf gewöhnliche Weise beleuchtet und seine Strahlen gehen ungebrochen von der untersten concaven Fläche zur obersten convexen Fläche. Hier werden nun die Strahlen reflectirt, sie fallen auf den kleinen convexen Spiegel der untern Fläche, verlaufen von hier wiederum durch den concaven Theil der obern Fläche ohne Brechung nach oben und bilden dann oben das vergrösserte Bild.

Ohne Zweifel liegt dieser Einrichtung des katadioptrischen Mikroskops ein ganz guter Gedanke zu Grunde, und dergleichen katoptrische Objective würden wohl den wesentlichen Vorzug haben, dass sie in kleinem Maassstabe sich herstellen lassen und mithin stark vergrössern. Indessen darf man bezweifeln, dass sie Eingang finden werden, weil es so ungemein schwierig, um nicht zu sagen unmöglich ist, den concaven und convexen Glasoberflächen, deren man sich hier als Spiegel bedienen muss, eine elliptische Krümmung zu geben, ohne welche doch an eine vollständige Verbesserung der sphärischen Aberration nicht zu denken ist.

Endlich habe ich noch eines von Doppler (Ueber eine wesentliche Verbesserung der katadioptrischen Mikroskope. Prag 1845) gemachten Vorschlags zu gedenken, von dem schon früher (§. 172) die Rede war, wo die theoretischen Gründe desselben erörtert wurden. Doppler kommt nämlich zu dem Schlusse, die passendste Krümmung für den Spiegel eines katadioptrischen Mikroskops habe man nicht in den Scheiteltheilen, sondern in den zwischenliegenden Partien einer Ellipsoidoberfläche. Das hierdurch entstehende Bild, meint er, müsse ganz scharf und bestimmt und frei von allen Aberrationen sein; er giebt sich daher ganz ernstlich dem Gedanken hin, ein Haus ausdrücklich für ein solches Mikroskop herzustellen, und er liefert auch einen Durchschnitt desselben. Nach dieser Abbildung sollte das Haus aus zwei Vertiefungen bestehen. In einem Zimmer, am Ende der untern Vertiefung, befindet sich der Objecttisch, auf dem die Objecte mittelst einer sehr grossen Linse beleuchtet werden, welche das Licht einer Hydrooxygengasflamme auf Kalk concentrirt. Ein Laboratorium zur Bereitung der Gase findet sich zunächst dem Objecttischzimmer. Die Decke des letztern hat eine Oeffnung, durch welche die vom Objecte kommenden Strahlen auf den schief stehenden elliptischen Spiegel fallen, der sich mithin in der zweiten Vertiefung und zwar am Ende eines langen Ganges befindet. Dieser 455

Gang stellt hier das Mikroskoprohr vor: an seinem andern Ende befindet sich das Ocular, wodurch Doppler die Objecte 20000 Mal vergrössert sehen will.

Auf die Ausführbarkeit eines solchen Vorschlages brauche ich hier wohl nicht näher einzugehen. Hätte Doppler neben seinem theoretischen Wissen praktische Kenntnisse des Mikroskops besessen, so würde er wohl mit seinem Plane und dem Aufrufe an die deutschen Fürsten zur Herstellung eines so riesigen katadioptrischen Mikroskops zurückgehalten haben.

456 Aus dem bisher in diesem Abschnitte Abgehandelten ist zu ersehen, dass vielerlei, zum Theil ganz verschiedenartige Versuche gemacht worden sind, die Eigenschaften des Hohlspiegels nutzbar zu machen, indem man ihn als katoptrisches Objectiv verwendete, und dass manche auch in der neuern Zeit, wo das dioptrische Objectiv einen so hohen Grad von Vollkommenheit erreicht hat, den Muth noch nicht verloren haben, dieses durch ein katoptrisches Objectiv zu ersetzen. Die Vortheile und Nachtheile dieser beiden Objectivarten wurden schon oben (§. 174) von theoretischer Seite und nach Maassgabe der Erfahrung aus einander gesetzt und daraus wurde der Schluss gezogen, dass die dioptrischen Mikroskope für jetzt wenigstens wahrscheinlich nicht durch die katoptrischen verdrängt werden dürften. Den dort angeführten Gründen habe ich hier noch folgenden hinzuzufügen. In dem durch einen vollkommen elliptischen Spiegel erzeugten Bilde ist die sphärische Aberration zwar vollständig aufgehoben; aber wenn dies auch theoretisch ganz wahr ist, so ist es doch in der praktischen Ausführung nur annäherungsweise möglich. Es giebt keine Instrumente, wodurch der Arbeiter mit einiger Zuverlässigkeit in den Stand gesetzt würde, den kleinen Spiegelchen, die hierbei erfordert werden, eine feste Krümmung zu geben, und selbst wenn dergleichen Instrumente erfunden wären, würden sie wahrscheinlich hierbei nicht immer anwendbar sein. Alles kommt demnach auf die Geduld und die Geschicklichkeit des Arbeiters an, ja man darf wohl noch hinzufügen, auf den Zufall, der ihm günstig oder ungünstig sein kann. Anders steht es mit den dioptrischen Objectiven, wie diese jetzt hergestellt werden. Auch hier steht es nur bis zu einem gewissen Punkte hin in der Macht des Arbeiters, die Aberrationen in den einzelnen Doppellinsen zu verbessern. Ist dies aber geschehen, dann vereinigt er zwei, drei oder selbst vier von diesen nicht vollkommen verbesserten Doppellinsen zu einem Systeme, er verändert ihren wechselseitigen Abstand so lange, bis sie zusammen ein scharfes und helles Bild zu geben scheinen, und damit ist das dioptrische Objectiv fertig, gewiss innerhalb eines weit kürzern mittlern Zeitraums, als ein katadioptrisches Objectiv von gleicher relativer Vollkommenheit sich herstellen lässt. Dazu kommt noch, dass man nicht erwarten darf, jemals katoptrische Objective von so kurzer

Brennweite und mit so grossem Oeffnungswinkel zu Stande zu bringen, wie man es jetzt bei den aplanatischen Linsensystemen auszuführen vermag. Das stärkste vergrössernde Spiegelchen, welches Cuthbert herstellte, hatte 7,6^{mm} Brennweite und 55^{0} Oeffnungswinkel; dagegen hat man jetzt Linsensysteme mit vier- bis fünfmal kleinerer Brennweite und mit mehr denn dreimal so grossem Oeffnungswinkel.

Achter Abschnitt.

Das Bildmikroskop.

457 Schon einige Male bin ich im Falle gewesen, allgemein verbreitete Irrthümer in der Geschichte der mikroskopischen Instrumente aufzudecken. Wir haben gesehen, dass durch eine verkehrte Erzählung dem ersten Mikroskope von Hans und Zacharias Janssen eine ungeheuerliche Länge zugeschrieben wurde (S. 657), dass die von Leeuwenhoek erfundenen Hohlspiegelchen zur Beleuchtung undurchsichtiger Objecte mit Unrecht zu einer Erfindung Lieberkühn's gestempelt wurden (S. 604), dass Frauenhofer ohne Grund allgemein als der erste Verfertiger achromatischer Objective angesehen wird, da ihm hierin zwei Holländer vorausgegangen sind, von denen wenigstens der eine eine Beschreibung seines Mikroskops hat drucken lassen (S. 692). Der stärkste Irrthum waltet nun aber ob in Betreff des ersten Erfinders des Sonnenmikroskops. Alle neueren Autoren haben es Baker nachgeschrieben, Lieberkühn habe dasselbe eigentlich erfunden, Cuff aber habe es verbessert, indem er den Spiegel hinzufügte; diese Verbesserung selbst falle aufs Jahr 1738. Wir werden jedoch sehen, dass das Sonnenmikroskop mit einem Spiegel schon viel früher bekannt war und beschrieben worden ist.

458 Die eigentliche Geschichte dieses Instruments beginnt mit der Erfindung der Laterna magica. Es ist die Meinung aufgestellt worden (*Encyclop. Brit.* Ed. 6, XIV, p. 173), bei Porta*) fänden sich bereits

*) In Porta's *Magia naturalis* findet sich nichts, was darauf hinwiese. Seine Schrift *De refractione optica*, welche 1583 erschienen ist, habe ich zwar nicht nachsehen können. Da indessen Libri, der sonst niemals versäumt, die Entdeckungen seiner Landsleute in den Vordergrund zu stellen, ganz darüber schweigt, so glaube ich annehmen zu dürfen, dass dies eine ganz falsche Annahme ist.

Andeutungen über deren Zusammensetzung. Richtiger nimmt man aber wohl an, dass dieselbe zuerst von Kircher in dessen *Ars magna lucis et umbrae* beschrieben worden ist, wovon die erste Ausgabe im Jahre 1646 erschien. Bereits damals war Kircher auf den Gedanken gekommen, statt einer Lampe das Sonnenlicht zu benutzen, welches durch einen Metallspiegel aufgefangen wurde *). Auf die Oberfläche dieses Spiegels wurden verschiedene Dinge gemalt, die sich vergrössert auf der gegenüberstehenden Wand darstellten, wenn die Lichtstrahlen durch eine convexe Linse in ein dunkles Zimmer geleitet wurden. Er benutzte dazu auch wohl lebende Insecten, die er auf den vorher mit Honig bestrichenen Spiegel brachte, um ihre Bewegungen dadurch zu verlangsamen. Auch steckte er wohl eine Fliege oder ein anderes Insect an eine Nadel, und hielt dann hinter den Spiegel einen Magnet, den er hin- und herbewegte, um dadurch die Bewegung des Thieres nachzumachen. Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass sein Apparat aus einem horizontalen Brettchen bestand, welches an dem einen Ende den Spiegel trug, der sich um eine Axe drehen liess; die Linse aber konnte in die geforderte Entfernung kommen mittelst einer länglichen Aushöhlung in dem nämlichen Brettchen, worin der Bügel, der die Linse trug, auf- und niederbewegt werden konnte. Dieser Apparat wurde dann vor eine Oeffnung des dunkel gemachten Zimmers gehalten und der Spiegel so geneigt, dass die Sonnenstrahlen durch die Linse und durch die Oeffnung fielen. Wie unvollkommen dieser Apparat auch war, offenbar ist er das Sonnenmikroskop in der allereinfachsten Form. Es gehörte aber kein grosser Scharfsinn dazu, denselben entschieden zu verbessern, was auch schon nach einigen Jahren gesche-

---

*) Ich habe blos die zweite Auflage (Amstelod. 1671) benutzen können, wo pp. 768, 793 u. 794 die betreffenden Angaben gefunden werden. Man ersieht aber aus p. 768, dass Kircher bereits von diesen Mitteln Gebrauch machte, als er die erste Ausgabe seines Buchs besorgte. Wilde (Gesch. d. Optik, I, S. 294) bezweifelt, dass Kircher die Laterna magica erfunden habe, weil Dechales (*Mundus mathematicus*, Ed. 2. 1690, III, p. 696) angiebt, ein Däne habe ihm schon 1665 eine Laterna magica mit zwei convexen Gläsern gezeigt, und Kircher habe die seinige zwar in der zweiten Ausgabe seiner *Ars magna lucis et umbrae* von 1671 beschrieben, nicht aber in der Ausgabe von 1646. Nun giebt aber Kircher in der zweiten Ausgabe (p. 768) ausdrücklich an, dass er die Laterna magica bereits in der frühern Ausgabe beschrieben hat und fügt hinzu, der Däne Thomas Walgenstein habe sie weiterhin verbessert; nur ist aus seinen Worten schwer zu entnehmen, worin diese Verbesserung eigentlich bestanden hat. Vorläufig, bis ich Gelegenheit finden werde, die Ausgabe von 1646 zu vergleichen, oder bis ich das dort Vorkommende irgendwo anders genauer beschrieben finde, glaube ich also Kircher als den Erfinder gelten lassen zu müssen. Auch noch von einem andern wird Kircher die Ehre der Erfindung streitig gemacht. Kolhans (Neuerfundene mathematische und optische Curiositäten. Leipzig 1676, S. 318) schreibt nämlich diese Erfindung dem Nürnberger J. F. Grindl zu, von dessen zusammengesetztem Mikroskope oben (S. 663) die Rede war. Dieses Zeugniss dürfte aber von zu spätem Datum sein, als dass man viel Gewicht darauf legt.

hen ist. In Zahn's *Oculus artificialis* von 1687 wird die Laterna magica als wahres Mikroskop bezeichnet, wodurch man kleine Insecten und Wasserthierchen vergrössert sehen kann, und statt des Lampenlichts wird das Sonnenlicht empfohlen, das man mittelst eines ebenen Spiegels auffangen und dirigiren soll*).

Das Sonnenmikroskop, darf man annehmen, war jetzt nach allen seinen wesentlichen Bestandtheilen bekannt. Von späterem Datum scheint einzig und allein die Beifügung der Beleuchtungslinse zu sein, um die Benutzung von stärkeren Linsen, als gewöhnlich bei der Laterna magica in Gebrauch sind, möglich zu machen. Da aber genauere Angaben über die Vergrösserung der ersten Sonnenmikroskope fehlen, so hält es schwer, irgend etwas Bestimmtes hierüber anzugeben.

459 Erst ein halbes Jahrhundert später wurde das Sonnenmikroskop als sogenanntes Camera-obscura-Mikroskop allgemein bekannt. Der in Danzig geborene Fahrenheit, welcher seit 1701 in Amsterdam lebte, woselbst er auch 1736 gestorben ist, hatte einige Zeit vor seinem Tode ein solches Instrument verfertigt. Lieberkühn hat dieses bei George Clifford und bei Hendrik de Raad in Amsterdam gesehen, lange vor-

---

*) Zahn schreibt Fund. III. p. 255: *Cum in Lucerna megalographica veri microscopii speciem habeamus, in qua etiam minima reposita plurimum tamen aucta in trajecta imagine repraesentari possunt, haud aliter imagines objectorum minutorum adhibitis aliis microscopiis in oculum trajectae multo majores ipsis objectis depingi solent, sic etiam in Lucerna magica, si minutissima animalcula in loco vitri plani deponantur, eadem mirifice aucta in pariete vel quocunque plano dealbato repraesentari poterunt.* Er empfiehlt dazu zwei Täfelchen von Glas oder Glimmer, zwischen die ein Ring eingeschoben wird, und fährt dann weiter fort: *Cum solis radii idem praestare possint, quod lampadis lumen a speculo reflexum, si in tubum ita duo vitra lenticularia, prout in lucerna magica fieri debet, reponantur, et quaecunque minuta objecta, veluti muscae aliaque animalcula in loco imaginis collocentur tubusque soli in obscurato conclavi ita obvertatur, ut radii ad parietem vel quodcunque planum dealbatum trajici possint, haberi poterit illius minuti objecti appositi imago multo major aeque in pariete albo, prout per lucernam fieri solet. Quod si etiam non satis commode tubus directe soli obverti queat, poterunt debite praetento speculo plano radii intus non obscurato conclavi ad quemcunque peritum locum traduci pro imagine ibidem efformanda.*

Wahrscheinlich ist aber Dechales bereits vor Zahn darauf gekommen, die Laterna magica als Sonnenmikroskop zu benutzen. In dessen *Cursus s. Mundus mathematicus*, Ed. 2. 1690, wird p. 696 erwähnt, dass ein gelehrter Däne, welcher 1665 durch Lyon kam, dort die Laterna magica zeigte, und p. 698 heisst es dann: *Microscopium habes in hujusmodi machina, quod tamen ad usum revocare poteris sine illa. Si enim tubo eadem vitra inseras, nempe primum 5, secundum digitorum 10, primoque imponas muscam aut quodcunque objectum minutum, tum illud soli obvertas, ut transmittatur solis radius in opposito pavimento, habebis illius objecti imaginem. Nam solis radius idem praestat quod lumen a sole reflexum.* Da er nun p. 696 schreibt: *hoc anno* 1665, so scheint aus dem ganzen Zusammenhange soviel hervorzugehen, dass er bereits in diesem Jahre mit der Benutzung der Laterna magica als Sonnenmikroskop vertraut war.

her, ehe er sich nach England begab; er machte dasselbe nach, zeigte es auf seinen Reisen verschiedenen Gelehrten und galt dann als der Erfinder *).

Das Sonnenmikroskop von Lieberkühn, also auch von Fahrenheit, war wenigstens in Einer Beziehung unvollkommener als die früheren Instrumente; es hatte keinen Spiegel, und musste deshalb immer der Sonne zugekehrt werden, was natürlich nicht so leicht war. Durch den englischen Instrumentenmacher Cuff wurde der Spiegel hinzugefügt, oder richtiger wieder eingeführt.

Ich habe nun im Folgenden die mancherlei erfundenen Sonnenmikroskope anzuführen; die erläuternden Abbildungen glaubte ich aber um so eher weglassen zu können, da die Bildmikroskope für die eigentliche Wissenschaft immer nur eine sehr untergeordnete Bedeutung haben werden.

Die ersten Sonnenmikroskope hatten eine hölzerne Platte; die Drehbewegung des Spiegels geschah durch eine Schnur, die in der Rinne jener Scheibe verlief, auf welche der Spiegel befestigt war, und höher oder tiefer wurde derselbe je nach dem Stande der Sonne mittelst eines dicken Messingdrahtes gestellt, der durch eine Oeffnung der Scheibe ging und mit einem kleinen beweglichen Arme am Spiegel verbunden war. Zur Vergrösserung benutzte man das Wilson'sche einfache Mikroskop.

Einige Jahre später, als das Sonnenmikroskop mehr Eingang gefunden hatte, wurden diese Bewegungen verbessert. Die Platte und die bewegliche Scheibe wurden von Messing gemacht, und die letztere bekam Zähne, so dass sie durch eine Schraube ohne Ende umgedreht werden konnte. Diese Einrichtung findet sich an den Sonnenmikroskopen des Johannes Paauw in Leyden, die man bei Musschenbroek (*Introductio ad philosophiam naturalem.* Lugd. Bat. 1762, p. 790. Tab. XIV, Fig. 7) abgebildet findet, desgleichen an dem Instrumente von Wiedenburg (Beschreibung eines verbesserten Sonnenmikroskops. Nürnb. 1758).

*) Diese Angaben stützen sich auf eine Anmerkung in der holländischen Uebersetzung von Baker's *Microscope made easy*, worin der Uebersetzer (und Herausgeber?) der Angabe Baker's, dass Lieberkühn der Erfinder sei, die angegebenen Thatsachen entgegenstellt. Es genügt aber diese Anmerkung wohl zum Beweise, dass Lieberkühn nur nach dem Muster von Fahrenheit sein Sonnenmikroskop verfertigte, welches er dann als der erste auf seinen Reisen vorzeigte, wodurch die Ansicht sich bildete, er sei auch der Erfinder. Jene holländische Uebersetzung ist im Jahre 1744 erschienen, also wenige Jahre nach dem Zeitpunkte, auf welchen die Erzählung hinweist, wo wahrscheinlich die meisten von den erwähnten Personen, mit Ausnahme Fahrenheit's, noch am Leben waren, so dass also an eine absichtliche Erfindung nicht wohl zu denken ist. Zudem hat der Verfasser jener Anmerkung nur günstige Gesinnungen gegen Lieberkühn, indem er ihm eben darin mit Unrecht die Erfinduug der reflectirenden Spiegelchen zur Beleuchtung undurchsichtiger Objecte zuschreibt. Uebrigens sei hier bemerkt, dass Lieberkühn selbst nirgends in Schriften sich für den Erfinder des Sonnenmikroskops ausgegeben hat.

Wiedenburg verfertigte und beschrieb auch einen Apparat, um statt der Sonne ein Kerzenlicht verwenden zu können; er ist aber nichts anderes als eine mit grosser Sorgfalt verfertigte Laterna magica. Sonderbarer Weise schreibt er S. 7: Die erste Erfindung des Sonnenmikroskops sind wir wohl den Engländern schuldig, gleichwohl aber haben es die Deutschen ungleich stark verbessert. Freilich nennt er aber auch S. 4 den Borellus unter jenen, denen die Erfindung des Mikroskops zugeschrieben wird.

460 Inzwischen erkannte man auch, dass das Sonnenmikroskop bei besonderer Einrichtung recht gut dazu dienen konnte, Zeichnungen mikroskopischer Objecte zu machen. Dahin gehört die Einrichtung von G. F. Brander (Kurze Beschreibung einer ganz neuen Art einer Camerae obscurae, ingleichen eines Sonnenmikroskops, welches man bequem aller Orten hinstellen und ohne Verfinsterung des Zimmers gebrauchen kann. Augsb. 1767), nämlich ein viereckiger pyramidenförmig zulaufender Kasten, an dessen schmaler Seite das Mikroskop mit den Linsen und dem dazwischen gebrachten Objecte befindlich war, während das vergrösserte Bild auf der entgegengesetzten Seite durch einen schief stehenden Spiegel auf ein horizontales mattes Glas reflectirt wurde. Die Sonnenstrahlen wurden durch keinen Spiegel aufgefangen und deshalb musste der ganze Kasten der Sonne zugekehrt werden. Die Mitte des Kastens hing daher zwischen zwei senkrecht stehenden Säulen, so dass er mittelst einer Schnur, die um eine unten befindliche Scheibe lief, unter verschiedenen Winkeln geneigt werden konnte.

In Ledermüller's mikroskopischen Belustigungen (III. Taf. 21. IV. Taf. 7) ist auch ein solcher Apparat beschrieben, den von Gleichen erfunden hat, und ein zweiter von Burucker in Nürnberg. Ebenso verband Martin (*Description and Use of an opake Solar Microscope* 1774) sein Sonnenmikroskop mit einer Camera obscura. Weiterhin kommen wir noch auf einige derartige Einrichtungen aus der neuern Zeit.

Eine etwas andere Einrichtung hatte das im Jahre 1771 erfundene Lampenmikroskop von Adams (*Essays on the Microscope.* 2 Ed. 1798, p. 64), welches durch dessen Sohn Jones weiterhin verbessert wurde; zum Theil war es aber zu dem nämlichen Zwecke, zum Zeichnen mikroskopischer Gegenstände, bestimmt. Es besteht aus einem horizontal liegenden, viereckigen, pyramidalen Holzkasten, der auf einem langen Messingstabe ruht. Das Ganze wird von einem passenden Fussstücke getragen. An dem einen Ende der Messingstange befindet sich der vertical stehende Objecttisch mit den Linsen, wodurch das Licht einer Argand'schen Lampe auf das Object concentrirt wird. Der hölzerne Kasten hat an dem einen Ende ein Rohr zum Anschrauben der Linsen, die das vergrösserte Bild geben; am breiten Ende des Kastens aber ist in verticaler Stellung ein mattgeschliffenes Glas angebracht, worauf das

Bild aufgefangen wird. Die Linse wird dem Objecte durch einen Trieb und eine Schraube ohne Ende genähert, wodurch der ganze Kasten hin- und herbewegt wird.

Später wurden mehrere Verbesserungen in der mechanischen Einrichtung dieses Apparates vorgenommen, und er wurde auch zur Beobachtung undurchsichtiger Objecte eingerichtet.

Aber auch das Sonnenmikroskop selbst wurde um diese Zeit ver- 461
bessert, indem man mehrere Apparate zur Beobachtung undurchsichtiger Objecte hinzufügte.

Lieberkühn soll bereits ein Sonnenmikroskop für undurchsichtige Objecte hergerichtet haben; Aepinus (*Nov. Comment. Ac. Petrop.* IX, p. 316) will es wenige Wochen vor seinem Tode bei ihm gesehen haben, konnte sich jedoch späterhin nicht mehr auf dessen Einrichtung besinnen.

Im Jahre 1750 machte Euler (*Nov. Comment. Ac. Petrop.* III, p. 363) einige Verbesserungen an der Laterna magica und am Sonnenmikroskope bekannt, die auf die Beleuchtung undurchsichtiger Objecte Bezug hatten. Zu dem Ende empfiehlt er für die Laterna magica zwei elliptische Hohlspiegel, die dergestalt vor das Object kommen sollen, dass sich die Lampe in dem einen Brennpunkte des Spiegels befindet, das Object aber in den andern Brennpunkt kommt. Beim Sonnenmikroskope schlägt er vor, eine Linse dergestalt in schiefer Richtung vor das Object und seitlich von demselben zu bringen, dass die durch einen Spiegel aufgefangenen Sonnenstrahlen auf das Object concentrirt werden. Ich weiss nicht, ob diese von Euler vorgeschlagenen Verbesserungen wirklich zur Ausführung gekommen sind, etwa durch Häseler (Verbesserung der Sonnenmikroskope, der Zauberlaterne und Camera obscura nach Euler. Holzminden 1779), dessen Schrift ich nicht habe einsehen können.

Im Jahre 1763 beschrieb Aepinus (*Nov. Comment. Ac. Petropol.* IX, pag. 316) seinen Apparat zur Beleuchtung undurchsichtiger Objecte mit dem Sonnenmikroskope. Dieser bestand wesentlich darin, dass an einem gewöhnlichen Sonnenmikroskope eine Einrichtung getroffen wurde, vermöge deren das Licht, welches durch die hinter dem Objecte befindliche Linse bereits concentrirt war, von einem ebenen kreisförmigen Spiegelchen aufgefangen wurde, das sich in einer etwas schiefen Stellung vorderhalb und zur Seite des Objects befand, so dass das Licht auf das Object selbst reflectirte.

Ein Jahr später erst beschrieb Zeiher (*Nov. Comment. Ac. Petrop.* X, p. 299) zweierlei Einrichtungen der Art. Aepinus giebt aber selbst an, dass diese Zeiher'schen Einrichtungen bereits bekannt waren, als er die seinige beschrieb. Die eine Einrichtung von Zeiher ist nur für grössere Objecte, wie etwa Münzen, bestimmt: die durch die Beleuchtungslinse concentrirten Strahlen fallen in schiefer Richtung auf eine Ob-

jecttafel, die mit der Axe des Instruments einen Winkel von 37° bis 38° bildet. Die andere Einrichtung ist für kleinere Objecte berechnet, welche durch einen durchbohrten Hohlspiegel beleuchtet werden, der das Licht auf die Oberfläche des Objects concentrirt. Sonnenmikroskope mit einer derartigen mechanischen Einrichtung sind von Hendrik Hen in Amsterdam gefertigt worden, von dessen zusammengesetztem Mikroskope weiter oben (S. 686) die Rede war.

Im Jahre 1774 beschrieb Benjamin Martin (*Description and Use of an opake Solar Microscope.* Lond. 1774) sein Sonnenmikroskop für undurchsichtige Objecte, und seine Einrichtung ist noch bis auf den heutigen Tag mit geringen Veränderungen bei vielen in Gebrauch geblieben. Sie stimmt mit Aepinus in der Hauptsache überein, insofern nämlich die Beleuchtung durch einen ebenen Spiegel bewirkt wird, der in schiefer Richtung vorderhalb und zur Seite des Objects steht und das durch die Objecttivlinse bereits concentrirte Licht auf das Object reflectirt. Nur ist der Martin'sche Spiegel viel grösser und in einen besondern vierseitigen Kasten eingeschlossen, der an den Körper des Mikroskops angeschraubt wird.

Vor einigen Jahren hat Pritchard (*Micrographia*, p. 189) ein von einem Amerikaner, den er aber nicht nennt, ausgegangenes Verfahren beschrieben: statt Einer Beleuchtungslinse werden nämlich vier genommen, die in einem Kreise zu stehen kommen. Die hierdurch concentrirten Lichtbündel werden von vier Spiegeln aufgefangen, die in schiefer Richtung vor dem Objecte stehen. Indessen ist diese Einrichtung wohl allzu complicirt, als dass sie befriedigen könnte. Die Einrichtung, der Pritchard selbst den Vorzug giebt, ist offenbar die schon beschriebene Zeiher'sche.

Endlich schlug Brewster (*Treatise on the Microscope*, 1837, p. 114) vor, statt der Objectivlinse einen durchbohrten Hohlspiegel zu nehmen. Das Object kann alsdann auf gewöhnliche Weise durch die Beleuchtungslinse an der Hinterseite, die der Concavität des Spiegels zugekehrt ist, beleuchtet werden, und der Hohlspiegel kann als katoptrisches Objectiv dienen, um das Bild zu erzeugen.

462 Inzwischen hafteten am Sonnenmikroskope die nämlichen Mängel, die auch der Vollendung der übrigen dioptrischen Instrumente im Wege standen. Freilich schlug Aepinus 1763 Doublets statt der einfachen Linsen vor, wobei er offenbar durch Euler's Abhandlung über die Verbesserung des einfachen Mikroskops geleitet wurde, und Martin empfahl einige Jahre später die Benutzung achromatischer Linsen; allein keiner dieser beiden Vorschläge scheint damals zur Ausführung gekommen zu sein. Brewster suchte 1813 das Princip, welches er behufs der Achromatisirung des zusammengesetzten Mikroskops in Anwendung gebracht hatte (S. 695), auch auf das Sonnenmikroskop zu übertragen. Sein Apparat bestand aus einer kurzen horizontalen Röhre mit einer

Oeffnung an der obern Seite: an dem einen Ende dieses Rohrs befand sich eine planconvexe Objectivlinse mit der convexen Seite nach aussen, das andere Ende derselben aber war durch ein ebenes Glas geschlossen. Nun wurde das Rohr mit einer Flüssigkeit gefüllt und in diese das Object gesenkt, welches auf gewöhnliche Weise durch einen Spiegel und eine Linse beleuchtet wurde. Es braucht wohl kaum darauf hingewiesen zu werden, wie höchst unvollkommen diese Einrichtung war und dass sie nur in wenigen Fällen wirklich in Anwendung kommen konnte. Später belehrte dann Robison (Goring und Pritchard, *Micrographia*, p. 170), welche Vortheile es hat, wenn man statt der gewöhnlichen Objectivlinse das aus zwei Gläsern zusammengesetzte Ocular von Ramsden benutzt. Dollond versah seine Sonnenmikroskope mit einem Objective, welches gleich den Wollaston'schen Doublets aus zwei planconvexen Linsen bestand, und Coddington brachte seine rinnenförmig ausgehöhlten Linsen ans Sonnenmikroskop (*Micrographia*, p. 183).

Nachdem endlich das zusammengesetzte Mikroskop aplanatische Linsensysteme bekommen hatte, war es sehr natürlich, dass man dergleichen auch beim Sonnenmikroskope in Anwendung brachte. Ch. Chevalier ging hierin voran und man folgte ihm bald allgemein nach, so dass alle neueren Sonnenmikroskope aplanatische Objective haben, die sich nur darin von den Objectiven im gewöhnlichen zusammengesetzten Mikroskope unterscheiden, dass die Kron- und Flintglaslinsen nicht durch Canadabalsam unter einander verbunden sind, denn durch die Wärme, denen sie ausgesetzt sind, würde dieses Verbindungsmittel bald getrübt werden.

Die Sonnenmikroskope, wie man sie jetzt von verschiedenen Opti- 463
kern beziehen kann, sind in der mechanischen Einrichtung sehr wenig von einander verschieden, weshalb eine gemeinsame Beschreibung ausreichend sein wird.

Alle Theile werden aus Messingblech gemacht. Die vierseitige Platte, welche mit zwei oder vier Schrauben in die Oeffnung des Ladens befestigt wird, muss dick und schwer sein. In ihr dreht sich eine Scheibe herum mittelst eines gezahnten Rades, oder noch besser mittelst einer Schraube ohne Ende, welche in die Zähne greift, womit der halbe Umfang des Scheibenrandes versehen ist, so dass eine halbe Umdrehung von 180° stattfinden kann. An der Hinterseite der Scheibe befindet sich der Spiegel, den man gegenwärtig mit Recht viel breiter und länger macht, als es in früherer Zeit zu geschehen pflegte. (Doch nahm Hendrik Hen in Amsterdam bereits sehr grosse Spiegel für seine Sonnenmikroskope. Bei einem Instrumente aus dem Anfange dieses Jahrhunderts fand ich einen Spiegel von 0,5 Meter Länge und 0,2 Meter Breite bei 0,19 Meter Durchmesser der Beleuchtunglinse.) Der Rahmen des Spiegels ist durch ein Charnier mit der Scheibe verbunden, und den

Neigungswinkel des Spiegels zu verändern dient ein gezahntes Rad, dessen Knopf an der Innenfläche der Scheibe herauskommt. In die kreisförmige Oeffnung der Scheibe passt das kegelförmig zulaufende Rohr, worin die Beleuchtungslinse steckt, die in der Regel biconvex ist. Goring (*Micrographia*, p. 84) nahm dazu eine grosse achromatische Linse, was allerdings vortheilhaft sein kann, jedoch den Apparat weit kostbarer macht, wenn auch das dazu benutzte Flintglas nicht ganz so ausgesucht und frei von Streifen zu sein braucht, als wenn es zu einem Fernrohrobjective von gleicher Grösse genommen wird. Der Apparat ist ferner so eingerichtet, dass das Object, jenachdem das Rohr verlängert oder verkürzt wird, in einen breitern oder schmälern Theil des Strahlenkegels gebracht werden kann, oder es gehören noch ein paar andere Beleuchtungslinsen von kürzerer Brennweite dazu, die man temporär in die Bahn der Strahlen bringen kann, um diese dann mehr oder weniger convergirend zu machen. Zum Fixiren der Objecte sind zwei Platten bestimmt, deren eine beweglich ist und durch eine Spiralfeder an die andere angedrückt wird. Mit der feststehenden Platte ist eine vierseitige Stange verbunden, an der sich mittelst eines Triebes ein Stab bewegt mit einem Querarme am Ende, der wiederum in einen Ring zum Aufschrauben der Linsen oder Linsensysteme ausläuft. Der letztgenannte Theil des Apparats stimmt daher ziemlich mit der Einrichtung der meisten neueren einfachen Mikroskope überein und er ist an die Stelle des früher gebräuchlichen Wilson'schen Mikroskops getreten.

Dem Sonnenmikroskope können in gleicher Weise wie dem zusammengesetzten Mikroskope mehr oder weniger viele Linsensysteme beigegeben sein, desgleichen eine grössere oder geringere Anzahl von Hülfswerkzeugen für verschiedenartige Beobachtungen. Darnach wechselt natürlich auch der Preis der Sonnenmikroskope. So finde ich z. B. in den Preiscouranten folgende Angaben:

Charles Chevalier in Paris . .	320 bis 500 Francs;
Lerebours in Paris	180 bis 320 Francs;
Simon Plössl in Wien	176 Gulden Conv.-M.;
Pistor und Martins in Berlin . .	60 bis 150 Thaler;
Pritchard in London	5 Pfd. 5 Sch. bis 38 Pfd.

464 Ausser einzelnen Linsen oder Linsensystemen können noch andere optische Hülfsmittel zur Erzeugung des vergrösserten Bildes benutzt werden. Goring nahm ein vollständiges zusammengesetztes achromatisches Mikroskop; die Bilder waren dann nicht blos vergrössert, sondern auch verkehrt (§. 145). Derselbe versuchte auch sein katadioptrisches Mikroskop (Fig. 328) auf diese Weise, erlangte jedoch damit keine Erfolge, während dagegen einer seiner Freunde, welcher nur die dazu gehörigen Spiegelchen benutzte, mit der Wirkung sehr zufrieden gewesen sein soll (*Micrographia*, p. 97). Ebenso räth Brewster (*Treatise*, p. 112), sein

katoptrisches Objectiv (Fig. 333) statt der gewöhnlichen dioptrischen Objective zu nehmen. Es ist jedoch sehr unwahrscheinlich, dass dieses oder irgend eine andere katoptrische Einrichtung jemals den jetzt gebräuchlichen Linsensystemen den Vorrang ablaufen werde.

Weiter oben (S. 814) wurde schon einiger Einrichtungen aus dem 465
vorigen Jahrhundert gedacht, wodurch das Bildmikroskop zum Zeichnen der durch dasselbe erzeugten Bilder benutzbar wurde. Auch in neuerer Zeit hat man noch dafür bestimmte Apparate hergestellt.

Dahin gehört zunächst der im Jahre 1822 von Vincent und Charles Chevalier gearbeitete Apparat, dessen Einrichtung ich jedoch nicht kenne, sowie ein anderer Apparat, den Charles Chevalier (l. l. p. 40) einige Jahre später nach den Anweisungen von Percheron und Lefèbre verfertigte, und der von ihnen als Megagraph bezeichnet wurde. Das Megagraph soll nur bei 5- bis 25maliger Vergrösserung benutzt werden, und es genügt deshalb eine Lampe zur Beleuchtung. Auf Chevalier's Preiscourant steht es mit 200 Francs.

Ein anderer Apparat der Art, dessen Einrichtung ich aber auch nicht kenne, ist im Jahre 1827 von Schilling in Breslau geliefert worden.

Dagegen erhielten wir 1837 von Goring (*Micrographia* 1837, p. 84) eine ausführliche, durch Abbildung erläuterte Beschreibung eines solchen Apparats. In der runden Oeffnung eines starken hölzernen Rahmens oder Schirms, der vertical auf vier Füssen steht, wird das Sonnenmikroskop befestigt, ganz so, wie es in einem Fensterladen befestigt zu werden pflegt. Der Schirm kommt so zu stehen, dass die Sonne den Spiegel bescheint, der übrigens auf die gewöhnliche Weise sich bewegt. Die ganze übrige Einrichtung des Mikroskops ist ebenso wie bei anderen Sonnenmikroskopen; nur wird statt eines einzelnen Objectivs das Rohr eines zusammengesetzten Mikroskops genommen, das mit Objectiv und Ocular versehen ist. Das Rohr gleitet in einem zweiten, welches auf jenen Theil des Apparates geschraubt ist, der den Objecttisch und den federnden Apparat enthält. Zum Auffangen des Bildes dient ein dunkler Raum, nämlich ein hölzerner Kasten, auf dem oben eine kegelförmig zulaufende Kapsel aufsitzt; diese hat an der Spitze eine seitliche Oeffnung, und vor dieser steht ein ebener Metallspiegel unter einem Winkel von 45° oder noch besser ein rechtwinkeliges gläsernes Prisma *). Die Oeffnung kommt dem Oculare gerade gegenüber, so dass das Strahlenbündel, von dem sonst ein verticales Bild entstanden sein würde, sich nun unter einem rechten Winkel umbiegt und auf dem horizontalen Bo-

*) Goring empfiehlt, die spiegelnde Oberfläche dieses Prisma mit Folie zu belegen, was aber ganz unnöthig ist. Uebrigens hatte Chevalier schon früher bei seinen Sonnenmikroskopen ein solches Prisma, um dadurch das Bild auf einer horizontalen Fläche aufzufangen.

den des Kastens ein Bild erzeugt. Dieser Boden ist übrigens mit Gyps bedeckt und er hat eine convexe Oberfläche für das gekrümmte Bild. Um letzteres betrachten zu können, hat der Kasten oben und einander gegenüberstehend zwei mit kleinen Rahmen versehene Oeffnungen, so dass zwei Beobachter auf Einmal hindurchsehen können. Die seitlichen Wände des Kastens lassen sich wegnehmen, damit der Beobachter das Bild zeichnen kann; nur muss er, um das Licht abzuhalten, den Kopf mit einem Schirme bedecken.

Will man ein gewöhnliches Sonnenmikroskop benutzen, um das zum Zeichnen bestimmte Bild aufzufangen, so ist diese Goring'sche Einrichtung ganz zweckmässig; nur fällt es bei einem solchen Mikroskope immer schwer, die Beleuchtung zu reguliren, besonders wenn der Beobachter in einiger Entfernung vom Schirme und vom Spiegel damit beschäftigt ist, die in der dunkeln Kammer sich zeigenden Bilder zu zeichnen. Man würde freilich auch hier, wie es bei gewöhlicher Benutzung des Sonnenmikroskops geschieht, durch einen Heliostaten die Beleuchtung reguliren können; nur ist ein solches Instrument an und für sich sehr kostbar. Einfacher und dem Zwecke ebenso gut entsprechend erachte ich eine andere Einrichtung, die ich selbst (*Bulletin des Sc. phys. et natur. en Neerlande* 1839, p. 353) unter dem Namen des tragbaren Sonnenmikroskops beschrieb und durch eine Abbildung erläuterte. Damals benutzte ich dazu ein einfaches Mikroskop nach Wollaston's Construction (Fig. 247), jedoch mit einem weit dickern Rohre von 4 Centimeter Durchmesser. Darin steckt eine Beleuchtungslinse, die sich höher und tiefer stellen lässt, und die das Licht, welches sie von einem flachen Spiegel empfängt, auf das Object concentrirt. Als Objective wurden bei stärkeren Vergrösserungen statt der Linsen auch Glaskügelchen genommen. Der untere Theil des Mikroskoprohrs ist am Ende der einen Klaue des Dreifusses angeschraubt; in der Mitte des letztern aber befindet sich eine vierseitige Stange, die durch ein unten angebrachtes Charnier bis zu einem gewissen Punkte nach hinten übergeneigt werden kann. An dieser Stange kann sich ein Querarm in horizontaler Richtung mittelst eines Stiftes drehen, der in eine Oeffnung an der Spitze der Stange passt und darin durch eine Klemmschraube befestigt werden kann. Am Ende des Armes befindet sich ein Ring, um das cylindrische Unterende einer nach oben sich kegelförmig erweiternden Blechröhre aufzunehmen, die innen und aussen schwarz angestrichen ist und oben einen Rand hat, worin eine mattgeschliffene Glasplatte passt. Um das Licht abzuhalten, ist im cylindrischen Theile dieser Röhre ein Ring angebracht, der als Diaphragma dient.

Beim Gebrauche dieses Apparates wird die Stange nach hinten gebogen und der Arm mit der darin befindlichen Röhre etwas zur Seite gedreht, damit diese dem Kopfe nicht im Wege steht. Auf diese Weise wird das einfache Mikroskop ganz frei und man kann damit auf gewohnte Art beobachten. Hat man dann ein Object ins Gesichtsfeld gebracht,

dessen Bild man auf der matten Glasplatte aufzufangen wünscht, so bekommt der Spiegel eine solche Stellung, dass er das Sonnenlicht durch die Beleuchtungslinse auf das Object wirft; hierauf wird die Stange vertikal gestellt, und den Arm dreht man nach sich zu, bis die untere Oeffnung der Röhre über die vergrössernde Linse kommt. Setzt man sich jetzt einen Schirm von dichtem schwarzen Stoffe auf, um das Licht abzuhalten, so sieht man das Bild auf der Glasplatte und kann dasselbe messen oder zeichnen; da sich aber die Beleuchtung nach Maassgabe der Bewegung der Sonne ändert, so lässt sie sich dadurch reguliren, wenn man von Zeit zu Zeit den Spiegel etwas verrückt.

Der Apparat ist ganz brauchbar, namentlich deshalb, weil sich das einfache Mikroskop ganz schnell in ein Sonnenmikroskop umwandeln lässt; auch hat das Bild noch bei einer 700maligen Vergrösserung hinreichende Lichtstärke, wenngleich der Durchmesser des Spiegels und der Linse nicht mehr als 3,5 Centimeter beträgt.

Handelt es sich darum, Objecte zu messen, so ist diese Einrichtung ganz zweckentsprechend; weniger brauchbar ist sie dagegen zum Zeichnen, weil hierbei eine grössere Unbeweglichkeit der Glasplatte verlangt wird, als auf die beschriebene Weise zu erlangen ist. Aus diesem Grunde habe ich späterhin das aus zwei Hälften bestehende Gestell anfertigen lassen, von dem früher (Fig. 212 a. S. 547) schon die Rede gewesen ist; das Rohr ist hier unbeweglich eingeklemmt und das Ganze hat hinreichende Festigkeit, dass die Hand sich gehörig aufstützen kann.

Gegenwärtig gebrauche ich auch am liebsten ein zusammengesetztes Mikroskop mit achromatischen Linsen, das mit einem ebenen Spiegel und einer Beleuchtungslinse ausgestattet ist, statt des frühern einfachen Mikroskops. Aber es sind nicht alle zusammengesetzten Mikroskope dazu zu benutzen. Viele nämlich sind zu hoch, so dass dann das kegelförmige, darüber zu setzende Rohr sehr kurz sein müsste, wodurch ein kleines Gesichtsfeld und eine nur mässige Vergrösserung bedingt wäre; oder wäre das Rohr länger, dann käme die Glasplatte zu hoch und das Bild liesse sich nicht mehr gut zeichnen. Mit bestem Erfolge benutze ich das Amici'sche Mikroskop (Fig. 294), dessen Rohr auf die Hälfte verkürzt worden ist. Auch die Mikroskope von Oberhäuser, von Nachet, von Kellner und anderen sind dazu brauchbar, jene namentlich, deren Rohr durch Einschieben verkürzt werden kann. Dieses Einschieben gestattet nämlich nicht allein, das Rohr bis auf die passende Länge herabzubringen, es ist damit auch noch ein zweiter Vortheil verbunden, dass das innere Rohr, wenn das Mikroskop unter der Oeffnung der Röhre befindlich ist, etwas nach oben rückt und nun das Ocular in den cylindrischen Theil kommt, wodurch dann alles von unten kommende Licht von selbst ganz ausgeschlossen wird.

Ich will ein paar Beobachtungen mittheilen, aus denen man ersieht, dass die mittelst dieses Apparats auf einer mattgeschliffenen Glasplatte erhaltenen Bilder eine grosse Schärfe besitzen. Die benutzten Objective

und Oculare gehören zu dem Amici'schen Mikroskope, welches S. 721 ausführlich besprochen worden ist.

Objectiv.	Brennweite.	Ocular.	Vergrösserung.	Nobert's Probetäfelchen.
Nr. 4	8,7mm	Nr. 2	150	Dritte Gruppe deutlich.
6	4,0	2	320	Fünfte Gruppe deutlich.
11	2,7	2	500	Siebente Gruppe deutlich.

Der kleine Tisch, welcher oben (Fig. 124 S. 362) abgebildet wurde, kann auch zu dem nämlichen Zwecke benutzt werden. Der grosse Spiegel *e* wird alsdann weggenommen und an seine Stelle kommt ein Mikroskop. Man kann so das Bild auf ein mattgeschliffenes Glas in der vierseitigen Oeffnung *f* fallen lassen, oder auf ein mit Terpentinöl getränktes Papier, sobald das Bild auch nachgezeichnet werden soll. Um das Licht abzuhalten, bringt man auf das Ocular einen aus Pappe verfertigten, innen schwarz angestrichenen Kegel, dessen obere weite Oeffnung bis zur Glasplatte reicht. Das von oben einfallende Licht wird, gleichwie bei der vorigen Einrichtung, durch einen um den Kopf hängenden Schirm abgehalten. Bei schwachen Vergrösserungen genügt aber schon ein halb cylinderförmig gebogenes Stück Pappe von etwa 20 Centimeter Höhe, dessen convexe Seite dem Fenster zugewandt ist.

In der Hauptsache stimmt mit dieser Einrichtung jene überein, welche Derbey im Jahre 1847 der Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte in Aachen vorlegte (Amtlicher Bericht S. 176). Etwas davon abweichend war die Einrichtung, welche d'Alton dieser Versammlung mittheilte: ein zusammengesetztes Mikroskop nämlich wird vollständig umgekehrt, so dass das Rohr nach unten ist, der Objecttisch und der Beleuchtungsapparat dagegen nach oben. Das Bild entsteht dann auf dem Tische, worauf das Instrument befindlich ist. d'Alton sowohl wie Derbey entfernten das Ocular, und benutzten blos das Objectiv zur Erzeugung des Bildes.

Schliesslich habe ich noch mitzutheilen, dass J. B. van den Broek in Arnhem im Jahre 1844 ebenfalls eine Einrichtung beschrieben und abgebildet hat (*Natuurkunde, Tydschrift* 1844. I, p. 1), welche den Zweck hat, eine Camera obscura mit Martin's Sonnenmikroskop für undurchsichtige Objecte in Verbindung zu setzen.

466 Schon alsbald nach Erfindung der Daguerreotypie suchte Berres in Wien dieselbe beim Sonnenmikroskope in Anwendung zu bringen, besonders aber gaben sich Donné und Léon Foucauld in Paris darin grosse Mühe, und des Erstern *Atlas d'anatomie microscopique*, welcher 1844 er-

schien, enthielt bereits daguerreotypische Abbildungen. Ferner soll Carpenter 1847 in der Versammlung der *British Association* sehr schöne photographische Abbildungen mikroskopischer Gegenstände vorgelegt haben.

So lange indessen die Daguerreotypie und die Photographie auf Papier die einzigen bekannten Methoden waren, liess sich für das Mikroskop nicht viel davon erwarten. Seitdem jedoch die mit Collodium bestrichene Glasplatte in Gebrauch gekommen ist, hat die mikroskopische Photographie einen allgemeineren Eingang gefunden, worüber bereits oben (S. 549) das Ausführlichere mitgetheilt worden ist.

Dass früher ausser dem Sonnenlichte auch künstliches Licht zur Beleuchtung der Objecte beim Bildmikroskope benutzt wurde, ist bereits oben (S. 814) angeführt worden. Man kannte aber in früherer Zeit kein künstliches Licht, welches einen Vergleich mit dem Sonnenlichte zuliess, deshalb konnten solche Lampenmikroskope nur bei sehr schwachen Vergrösserungen in Anwendung kommen, und immer blieben sie gar sehr hinter den Sonnenmikroskopen zurück. Erst in neuerer Zeit hat man zwei Lichtquellen entdeckt, die zwar das Sonnenlicht noch nicht erreichen, ihm aber doch näher kommen, und ausserdem noch den Vorzug besitzen, dass sie, wie jedes andere künstliche Licht, zu jeder Zeit in Gebrauch gezogen werden können, nämlich die auf Kalk geleitete Hydrooxygengasflamme und den elektrischen Strom zwischen zwei Kohlenspitzen, welche die Pole einer Batterie bilden. 467

Von Pritchard (*Micrographia*, p. 170) erfahren wir, dass Birkbeck, als er 1824 in der *London Mechanisc Institution* eine Vorlesung über optische Instrumente hielt, zuerst das Hydrooxygengas auf Kalk einwirkend in einer Laterna Magica anwandte, wobei er die Bemerkung machte, dass dies auch beim Mikroskope zu gebrauchen sein würde. Etwa um die nämliche Zeit benutzte auch Woodward dieses Licht zu phantasmagorischen Experimenten. Etwas später wandte es Lieutenant Drummond für Signale und auf Leuchtthürmen an (*Philos. Transact.* 1826, p. 324, und 1830, p. 383), es wurde von da an allgemein bekannt und erhielt den Namen Drummond's Licht. Aber erst 1832 wurde zum ersten Male davon Gebrauch gemacht, um die Objecte in einem Bildmikroskope damit zu beleuchten. J. T. Cooper, der den Versuchen Birkbeck's beigewohnt hatte, stellte in diesem Jahre mit dem Instrumentenmacher John Carry das erste Hydrooxygengas-Mikroskop her, und am 18. Febr. 1833 wurde es zum ersten Male in einer öffentlichen Vorstellung gezeigt (*Microsc. Journ.* I, p. 2). Kommt nun gleich eine solche Einrichtung selbst dem gewöhnlichen Sonnenmikroskope noch lange nicht gleich, so hat doch selten ein neuerfundenes Instrument einen grössern Eindruck gemacht als dieses, wie die übertriebenen Berichte darüber in Zeitungen und selbst in wissenschaftlichen Journalen darthun. Die Speculation bemächtigte sich alsbald der Erfindung; die im Wasser lebenden Larven mancher noch ziemlich grossen Insecten, wie Mücken, Eintagsfliegen u. s. w., die man

ganz gut mit blossem Auge erkennen kann, wurden dem schaulustigen Publicum als Infusionsthierchen vorgezeigt, und die stattfindenden Vergrösserungen wurden dabei nicht nach dem Durchmesser angegeben, sondern nach der Oberfläche, ja sogar nach dem kubischen Inhalte.

Unter denen, die sich durch solche Marktschreiereien nicht irreführen liessen, waren auch solche, die erkannten, es sei dieser Apparat recht brauchbar zu öffentlichen Demonstrationen, und wenn man auch später eingesehen hat, dass in dieser Beziehung die Erwartungen zu hoch waren und die feinere Structur der thierischen und pflanzlichen Gewebe sich dadurch nicht deutlich machen lässt, so sind gleichwohl die Bemühungen jener gerechtfertigt, die das Hydrooxygengas-Mikroskop diesem Zwecke mehr anzupassen suchten.

Die Verbesserungen bezogen sich aber weniger auf den optischen Vergrösserungsapparat, der ganz gleich ist wie beim Sonnenmikroskope, sondern sie beschränkten sich hauptsächlich auf die Einrichtung der beiden Gasrecipienten, auf die gefahrloseste Vermischung der beiden Gase vor deren Ausströmen, auf die Herstellung einer regelmässigen Drehbewegung der Kalk- oder Kreidemassen durch ein Uhrwerk und auf die Mittel zur Concentration der Lichtflamme.

Eine ausführliche Auseinandersetzung der verschiedenen Methoden nebst Beschreibung und kritischer Prüfung der verschiedenen Apparate würde mich aber zu weit abführen, und ohne viele Abbildungen würde die Sache auch nicht zu verstehen sein. Ich beschränke mich deshalb auf nachfolgende kurze Notizen.

Anfangs 1834 verfertigte bereits Becker in Gröningen, angeleitet von Stratingh, ein Hydrooxygenmikroskop (*Konst- en Letterbode*, 1834. I, p. 148), woran der zur Gaszuleitung bestimmte Theil von der ursprünglichen englischen Einrichtung hauptsächlich darin abweicht, dass nur der Sauerstoff sich vorher in einem besondern Gasometer ansammelt, das Wasserstoffgas aber in dem Maasse als es verbraucht wird, sich immer neu bildet, wie in einer Döbereiner'schen Lampe.

In dem nämlichen Jahre war das Hydrooxygenmikroskop in Frankreich durch einen damit umherziehenden Engländer, Namens Warwich, bekannt geworden, und Ch. Chevalier (l. l. p. 45) verfertigte, unter dem Beirathe von Galy Cazalat, alsbald ein solches Instrument, wobei er darauf Bedacht genommen hatte, mehr Sicherheit bei dessen Gebrauche zu erlangen.

In Deutschland war Pfaff (Poggend. Ann. Bd. II, S. 547) einer der ersten, der sich mit der neuen Erfindung beschäftigte und auch eine neue Einrichtung der Gasometer in Vorschlag brachte.

In England blieb man natürlich nicht zurück, und die ursprüngliche Einrichtung wurde auf mannigfaltige Weise verbessert. Pritchard (*Micrographia*, p. 192) fertigte zwei Arten von Gasometer dafür, von denen indessen der eine nur eine Nachahmung des frühern Barlow'schen Gasometers war (*Philos. Mag.* VIII, p. 240). Um das Licht auf das Ob-

ject zu concentriren, nahm Pritchard auch statt einer einfachen stark gekrümmten Linse ein Doublet aus einer biconvexen und einer planconvexen Linse, oder er brachte einen hohlen Metallspiegel hinter die Lichtquelle. Das mächtigste Instrument dieser Art wurde 1842 für die *Polytechnic Institution* in London von Carry geliefert (*Mechanics Magazine* 1842. Nr. 1010. Dingler's Journ. Bd. 67, S. 237). Bei einem Sehfelde von 24 Fuss soll es die Oberfläche der Objecte 74,000,000 Mal vergrössern, den Durchmesser also etwa 8500 Mal. Haben die Bilder bei dieser Vergrösserung wirklich noch hinreichende Helligkeit und Schärfe, dann muss Carry noch andere Mittel zur Verstärkung der Beleuchtung angewandt haben, als bis dahin gebräuchlich waren. Die Hydrooxygenmikroskope wenigstens, die ich habe prüfen können, gestatten keine Vergrösserung über 1500 Mal, und dabei haben die Bilder kaum so viel Lichtstärke, als bei einer 10,000maligen Vergrösserung mit dem Sonnenmikroskope. So viel steht fest, dass man bei einer 200maligen Vergrösserung durch ein gutes aplanatisches zusammengesetztes Mikroskop alles sehen kann, was das beste Hydrooxygenmikroskop zur Ansicht zu bringen vermag.

Ein Hydrooxygenmikroskop mit dem ganzen Zubehör von Gasometern u. s. w. kostet bei Chevalier 1500 bis 2000 Francs.

Das Hydrooxygenmikroskop ohne den Gasapparat, der auf Verlangen besonders dazu geliefert wird, kostet bei Plössl, je nach der Grösse (3 bis $3^1/_2$ Zoll) der Beleuchtungslinse und der Anzahl (3 bis 6) der achromatischen Objectivlinsen, 100 bis 200 Gulden Conv.-Münze.

Bei Pistor und Martins kostet es mit dem vollständigen Apparate, mit messingenen Gasometern u. s. w., 180 bis 300 Thaler.

Eine gute Vereinfachung des Gasmikroskops wurde vor mehreren Jahren von Children und Collins in London (Francis-Street Nr. 26. Tottenham Count Road) eingeführt: das Wasserstoffgas wurde durch eine alkoholische Lösung von Camphine (Terpentinöl) ersetzt. Die Kalkmasse kommt in die Flamme der Camphine und ein Strom Sauerstoffgas wird darauf geleitet. Der Apparat besteht aus zwei dicht bei einander befindlichen Röhren, die einen zusammengerollten platten Docht enthalten, ferner aus einem Kalkcylinder von etwa $^3/_8$ Zoll Länge und $^1/_8$ Zoll Dicke in einem Messingröhrchen. Der Strang, welcher das Sauerstoffgas aus einem Gasometer zuleitet, geht in ein dünnes Röhrchen aus, welches aufwärts gebogen ist und zwischen den nur wenig von einander abstehenden Dochten endigt; seine Oeffnung ist nicht ganz $^1/_8$ Zoll entfernt von der runden Oberfläche des kleinen Kalkcylinders und steht etwa $^1/_4$ Zoll über dem untern Rande des Messingröhrchens. Mit Wheatstone's Photometer fanden sie, dass das Licht dieses Apparates jenem von 108 Wachskerzen gleich kam; einmal kam es sogar dem Lichte von 121 Wachskerzen gleich. Das Hydrooxygenlicht auf Kalk geleitet fanden sie so stark leuchtend, wie 120 solche Kerzen. 468

Sollte es sich bestätigen, dass dieses Licht jenem des Hydrooxygen-

lichts an Stärke ziemlich gleichsteht, dann würde allerdings die erzielte Vereinfachung des ganzen Apparats nicht gering anzuschlagen sein. Auch dürfte man wohl erwarten können, das Licht noch mehr zu verstärken; denn da die Gefahr des Explodirens hier ganz beseitigt ist, so könnte auch die Flamme und die Oeffnung für das ausströmendes Gas unbedenklich noch etwas vergrössert werden, insofern letzteres nicht durch Abkühlung schädlich wirkt.

469 Zur Beleuchtung bei Bildmikroskopen ist endlich auch das elektrische Licht benutzt worden, welches sich zwischen Stückchen Kohle, als Polenden einer galvanischen Batterie, entwickelt. Schon seit vielen Jahren kannte man durch Davy's Versuche dieses blendende Licht, dessen Intensität unter allen Arten künstlichen Lichts dem Sonnenlichte am meisten genähert ist. Bei der frühern Einrichtung der galvanischen Batterien indessen nahm seine Stärke so rasch ab, dass man nicht daran denken konnte, es zu Versuchen zu verwenden, die während einiger Zeit fortgesetzt werden müssen. Erst nachdem die verschiedenen Arten constanter Batterien von Daniel, Grove, Bunsen u. s. w. erfunden worden waren, eröffnete sich die Aussicht hierzu, und Donné mit Léon Foucauld versuchten zuerst diese Lichtquelle beim Bildmikroskope in Anwendung zu bringen. Sie wandten sich zu dem Ende an Ch. Chevalier, und dieser brachte das sogenannte photoelektrische Mikroskop zu Stande, welches am 12. März 1845 in der Sitzung der *Societé d'Encouragement* vorgeführt und angewandt wurde (*Bulletin de la Soc. d'Encour.* Sept. et Dec. 1845. Dingler's polytechnisches Journ. 1846. Bd. 100. S. 101).

Folgendes ist die wesentliche Einrichtung. In der Mitte eines vierseitigen Kastens befinden sich die beiden als Polenden dienenden Stücke Kohle. Sie sind prismatisch, 3 Millim. breit, 10—12 Millim. lang, aus Gascoakes angefertigt und stecken in besonderen Röhren, die mit den Leitungsdrähten der Batterie in Verbindung stehen und durch einen Trieb, dessen Knöpfe aus dem Kasten hervorragen, einander genähert werden können, wenn sie durch Verbrennen kürzer werden und somit weiter von einander abstehen. Ein Hohlspiegel mit einem Focus von 8 Centimeter und einem Durchmesser von 10 Centimenter steht hinter diesen Kohlenstücken. Um die hohe Temperatur des durch diesen Spiegel erzeugten Lichtbildes, in welches die Objecte gelegt werden müssen, zu mindern, befindet sich nach vorn innen im Kasten ein Trog mit parallelen Glaswänden, der mit einer gesättigten Alaunauflösung gefüllt wird. Eine durch ein dunkles, fast schwarzes Glas geschlossene Oeffnung in dem Kasten dient dazu, das Licht zu beobachten, um es möglichst reguliren zu können. Das Dach und der Boden des Kastens bestehen aus einer Anzahl schiefstehender Platten, zwischen denen freie Interstitien zum Durchtritte der Luft verbleiben, während doch das Licht dabei ganz abgeschlossen ist.

Donné und Léon Foucauld benutzten eine Bunsen'sche Batterie

von 60 Paaren. Sie fanden es dabei nöthig, noch eine Einrichtung hinzuzufügen, um die Stärke des Stroms zu reguliren. Dazu nahmen sie zwei dreieckige Streifen Platinblech, von denen jeder mit dem Leitungsdrahte des einen Poles der Batterie in Verbindung stand und mit der Spitze in einen Trog mit angesäuertem Wasser tauchte. Beide Bleche sind aber an einen Träger befestigt, der durch einen Trieb höher und tiefer gestellt werden kann, so dass sie mehr oder weniger tief in die Flüssigkeit tauchen.

Aus dieser Beschreibung ist ersichtlich, dass der Abstand zwischen den beiden Kohlenstücken durch die Hand regulirt wird. Nun übt aber schon die geringste Aenderung dieses Abstandes einen grossen Einfluss auf die Intensität des Lichts, und es fällt daher sehr schwer, das Licht so zu reguliren, dass es immer die gleiche Intensität zeigt. Eine mechanische Vorrichtung statt der Hand war daher wünschenswerth. In England, wo man das elektrische Licht im Allgemeinen zur Beleuchtung zu verwenden wünschte, brachte Edward Staite in London (*Lond. Illustr. News.* 18. Nov. 1848) eine dazu passende Vorrichtung zu Stande, eben so William Petrie in London (*Comptes rendus.* XXVIII, p. 157). Indessen hatte auch Léon Foucauld bei seinen früheren Versuchen mit Donné genugsam erkannt, wie unvollkommen ihre damalige Einrichtung war, und am 15. Januar 1849 gab er der französischen Akademie Nachricht von einer Vorkehrung, dass die Kohlenstücke durch eine zwekmässige Vereinigung von Federn, verbunden mit einem Räderwerke und einem Elektromagneten, immer den gleichen Abstand von einander behaupteten (*Comptes rendus.* XXVIII, p. 68). In ihrem Berichte darüber gaben Regnault und Dumas an, der Apparat habe unter ihren Augen mit dem besten Erfolge gearbeitet, und es habe sich eine so gleichbleibende Intensität des Lichts gezeigt, wie man sie nur für Versuche wünschen könne, bei denen das Sonnenlicht durch elektrisches Licht ersetzt werden soll.

Einen mehr vereinfachten Apparat legte Jules Dubosq am 9. Dec. 1850 der französischen Akademie vor (*Comptes rendus.* XXXI, p. 809), der auch seitdem zumeist in Gebrauch gekommen ist. Ich habe mich selbst davon überzeugt, dass mit demselben ein ziemlich gleichmässiges und unveränderliches Licht erzielt wird.

Indessen trotz aller Intensität dieses elektrischen Lichtes besteht doch ein grosser Unterschied von dem durch eine Linse concentrirten Sonnenlichte. Wenn daher auch das photoelektrische Mikroskop vor dem Gasmikroskope den Vorzug verdient, so bleibt es doch immer noch ein sehr unvollkommenes Instrument, das nur bei einer verhältnissmässig schwachen Vergrösserung der Objecte passt. Bei 200maliger Vergrösserung sieht man mit einem guten zusammengesetzten Mikroskope alles, was in dem zehnmal stärker vergrösserten Bilde durch ein photoelektrisches Mikroskop wahrgenommen werden kann.

Neunter Abschnitt.

Apparate und Hülfsmittel zur mikroskopischen Untersuchung.

---

470 Zur mikroskopischen Untersuchung werden vielerlei kleine Apparate und Instrumente benutzt, die nicht unerlässlich dazu sind, und grösstentheils nur dazu dienen, die Beobachtungen selbst sicherer und bequemer vorzunehmen. Die Anzahl dieser Hülfsmittel selbst ist ziemlich gross, und wenn sie auch nicht alle gleich brauchbar sind, manche vielmehr recht gut durch andere weniger kostspielige Einrichtungen ersetzt werden können, so soll doch hier eine möglichst vollständige Uebersicht derselben gegeben werden.

Die älteren Mikroskope waren in dieser Beziehung natürlich nur dürftig ausgestattet. In dem Briefe Boreel's (§. 390) lesen wir, dass die Ebenholzscheibe, worauf das Mikroskop von Hans und Zacharis Janssen ruhte, einige *quisquilias* enthielt; es ist aber nicht klar, ob damit einzelne kleine Objecte gemeint sind, oder kleine Instrumente, deren man sich bei der Untersuchung bediente. Jedenfalls ist ihre Anzahl nur eine geringe gewesen, denn bei allen übrigen während des 17. Jahrhunderts gefertigten Mikroskopen trifft man nur wenige dergleichen an.

471 Es lassen sich folgende Klassen dieser Instrumente unterscheiden:

1) Apparate zur Beleuchtung der Objecte, und zwar

a) bei durchfallendem Lichte;
b) bei auffallendem Lichte;
c) bei polarisirtem Lichte.

2) Apparate und Hülfsmittel zum Tragen und Festhalten der Objecte.

3) Einrichtungen zur mechanischen Bewegung der Objecte auf dem Objecttische, und zwar

a) zur geradlinigen diagonalen Bewegung;
b) zur Kreisbewegung.

4) Apparate zum Messen und Zeichnen der Objecte:

a) Mikrometer;
b) Focimeter;
c) Goniometer;
d) katoptrische und dioptrische Hülfsmittel zur Projection der Bilder.

5) Apparate zum Schutz der Linsen bei mikrophysikalischen und mikrochemischen Untersuchungen.

6) Instrumente zur Anfertigung mikroskopischer Präparate.

Die zu diesen verschiedenen Klassen gehörigen Instrumente sollen nun der Reihe nach betrachtet werden.

Erstes Kapitel.

Beleuchtungsapparate.

Es ist im Frühern zu wiederholten Malen von den verschiedenen 472
Beleuchtungsweisen der Objecte die Rede gewesen, die nach einander in Gebrauch gekommen sind. Der Gegenstand ist indessen zu wichtig, als dass wir nicht im Besondern dabei stehen bleiben sollten, um das bereits Erwähnte unter einander in Zusammenhang zu bringen und das noch Fehlende hinzuzufügen. Natürlich wird aber nur von der Beleuchtung der Objecte beim einfachen und zusammengesetzten Mikroskope die Rede sein, da von der Beleuchtung bei den verschiedenen Arten von Bildmikroskopen bereits im vorigen Abschnitte die Rede war.

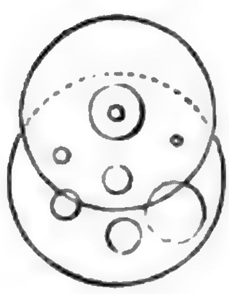
Wir haben früher gesehen, dass gleich vom Anfange an die zwei 473
hauptsächlichsten Beleuchtungsweisen, nämlich mit durchfallendem und mit auffallendem Lichte, in Gebrauch gewesen sind, die erste indessen anfänglich nur beim einfachen Mikroskope, da die ersten zusammengesetzten Mikroskope bis gegen Ende des 17. Jahrhunderts nur dazu geeignet waren, die Objecte bei auffallendem Lichte zu betrachten.

Die erste Verbesserung in der Beleuchtung durchsichtiger Objecte, die durchs einfache Mikroskop betrachtet werden, erzielten Hudde und Hartzoeker dadurch, dass sie (s. Fig. 221 a. S. 606) hinter das Object eine

biconvexe Linse brachten, welche der letztere zugleich so einrichtete, dass sie mittelst der Schraube *f* nach Willkür dem Objecte näher gerückt oder davon entfernt werden konnte. Dieses Beispiel ahmte Bonannus (Fig. 273 S. 668) auch beim zusammengesetzten Mikroskope nach, und späterhin ist diese Beleuchtungslinse immer in Gebrauch geblieben, nur hat man neuerer Zeit, wie weiter nachgewiesen werden wird, die biconvexe Linse durch Linsen von besserer Form ersetzt, nnd man hat auch zwei oder mehr Linsen vereinigt, wodurch eine mehr oder weniger vollkommene achromatische Beleuchtung erreicht wird.

Schon sehr früh ist man auch darauf bedacht gewesen, das überflüssige Licht mittelst Diaphragmen abzuhalten. Das erste Beispiel der Art begegnet uns bei einem der einfachen Mikroskope von Johannes Musschenbroek (Fig. 223 B, S. 607); er brachte hinter das Object ein Täfelchen, das sich um einen Stift drehte und mehrere Oeffnungen von verschiedenem Durchmesser hatte. Viel später erst brachte Lebaillif dieses Princip auch beim zusammengesetzten Mikroskope in Anwendung. Lebaillif war der erste, der unter dem Objecttische eine drehbare Scheibe anbrachte (Fig. 334), wie sie noch gegenwärtig bei vielen Mikroskopen angewendet wird; dieselbe ersetzte den früherhin von Culpeper und Scarlet benutzten Hohlkegel (Fig. 277 S. 673), welcher dem beabsichtigten Zwecke in einem geringeren Maasse genügt.

Fig. 334.



Lebaillif's drehbares Diaphragma.

Der Spiegel, der gegenwärtig den ersten und wichtigsten Bestandtheil jedes Beleuchtungsapparates ausmacht, ist am spätesten in Gebrauch gekommen. In Tortona's zusammengesetztem Mikroskope (Fig. 272, S. 666) war zwar schon 1685 eine Einrichtung angebracht, vermöge deren es dem Lichte zugekehrt wurde, so dass man, gleichwie mit dem einfachen Mikroskope, die Objecte bei durchfallendem Lichte damit betrachten konnte; aber erst 30 Jahre später verfiel Hertel darauf (Fig. 276, S. 671), einen Spiegel unterhalb anzubringen, und es währte fast noch 20 Jahre, ehe dessen Gebrauch allgemein angenommen wurde.

474 Wenden wir uns jetzt zur Betrachtung der Beleuchtungsapparate unserer heutigen Mikroskope. Ueber die theoretischen Grundprincipien, worauf sich die Beleuchtung mikroskopischer Objecte zu stützen hat, muss ich übrigens auf S. 204 u. flg. verweisen.

Die meisten unserer jetzigen Mikroskope haben einen concaven und einen ebenen Spiegel, z. B. jene von Oberhäuser, Plössl, Schick, Powell, Ross, Smith. Die älteren Mikroskope von Amici haben nur einen concaven Spiegel, die neueren nur einen flachen; letzteres ist auch bei dem Mikroskope der Fall, welches Pritchard für Goring herstellte. Das ist ein Mangel. Denn wenn man auch durch die Beleuchtungslinse das Licht gehörig zu concentriren vermag, so bleibt doch die Richtung

der Strahlen, welche auf das Object fallen, immer die nämliche. Durch die Verbindung mit einem Hohlspiegel lassen sich aber hierin die nöthigen Modificationen anbringen.

In manchen Fällen, namentlich wo es auf die Wahrnehmung von Farben ankommt, ist es gut, eine reflectirende Fläche zu benutzen, von welcher diffuses weisses Licht ausstrahlt. Zu diesem Zwecke bedeckte Goring die Hinterseite des Spiegels mit Gyps. Besser ist aber das Verfahren von Chevalier, der seinen Mikroskopen isolirte weisse Scheiben von der Grösse des Spiegels beifügt, die man, falls es nöthig ist, auf diesen legen kann. Varley empfahl dazu das Aufstreuen von kohlensaurem Natron.

Statt des Glasspiegels, der natürlich immer zwei Bilder reflectirt, haben manche ein Glasprisma empfohlen. Zuerst im Jahre 1838 benutzte Dujardin (*L'Institut* 1838, Nr. 247. — *Manuel de l'Observateur au microscope*, p. 21) ein solches und späterhin nahm auch Merz ein solches in sein Mikroskop auf. Ihr Beispiel hat aber keine Nachahmung gefunden und wird es wohl auch in der Folge nicht finden, weil das reflectirende Prisma weit kostbarer ist, als der Spiegel, und weil auch die zweite Reflexion des letztern hier der Schärfe des Bildes, welches man auf einem erleuchteten Hintergrunde sieht, durchaus keinen Eintrag thut.

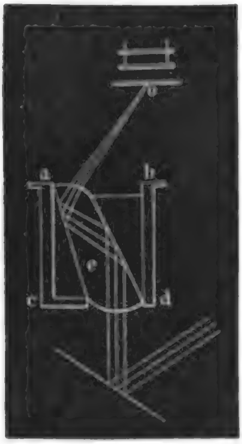
Weit mehr kommt darauf an, wie die Bewegung des Spiegels eingerichtet ist. Dass er in einem Bügel hängen muss, der sich um einen Stift dreht, wodurch er unter verschiedenen Winkeln geneigt werden kann, versteht sich von selbst; auch finden wir den Spiegel von der ersten Zeit an, wo er in Gebrauch gekommen ist, also eingerichtet. Es fehlte da aber noch eine dritte Bewegung: der Spiegel muss auch aus der optischen Axe des Mikroskops gebracht werden können, damit die Objecte durch schief einfallendes Licht getroffen werden, was für die Wahrnehmbarkeit mancher schwer erkennbaren Einzelnheiten sehr durchsichtiger Objecte sehr wichtig sein kann. Man hat diese Beleuchtungsweise mit schief einfallendem Lichte neuerer Zeit (Oberhäuser in den *Comptes rendus* vom 14. Juni 1847) als eine neue Erfindung ausgeben wollen; doch kannte man die Mittel dazu schon im vorigen Jahrhunderte, und die Vorzüge dieser Beleuchtung fanden damals wie später Anerkennung, wie man aus Adams (*Essays on the Microscope*, 1798, p. 136) ersieht.

Zum ersten Male begegnen wir dieser Bewegung des Spiegels 1759 bei den Mikroskopen Martin's (Fig. 281 S. 676), wo sich der Spiegel an einer runden Stange verschieben und zur Seite drehen lässt, und das ist fast auf die gleiche Weise bei Powell (Fig. 305 S. 751) beibehalten worden. Auch bei Dellebarre (Fig. 283 S. 682) ist der Spiegel seitlich zu bewegen, hier aber durch ein Charnier. Den Vorzug vor diesen beiden Methoden verdient es, wenn der Spiegel an einer Kurbel aufgehängt wird, wie es schon am Ende des vorigen Jahrhunderts bei den Mikroskopen von Herman und Jan van Deyl vorkommt (S. 686). Später hat sich diese Befestigungsweise wiederum verloren; doch finde ich sie bei einem

1835 von Amici verfertigten, in Utrecht befindlichen Mikroskope, und ebenso bei dessen neuen Instrumenten (Fig. 294 S. 719). An den älteren Oberhäuser'schen Mikroskopen fehlt diese Einrichtung; sie findet sich aber bei den späteren Oberhäuser'schen Instrumenten (Fig. 289 S. 706). Bei den Mikroskopen endlich von Smith u. Beck (Fig. 307 S. 754) kann der Spiegel nicht allein durch eine Kurbel, sondern auch noch durch eine Drehbewegung ausserhalb der Axe des Instruments gebracht werden. Indessen schon das erstere allein ist ganz ausreichend.

Endlich hat Nachet (*Comptes rendus* 1847. XXIV, p. 967) dieses Ziel noch auf eine andere Weise zu erreichen gesucht, namentlich bei solchen Mikroskopen, wo der Spiegel in einem trommelförmigen Fusse steckt und deshalb nicht seitlich bewegt werden kann. Dieser Beleuchtungsapparat ist Fig. 335 im Durchschnitte dargestellt. Unmittelbar unter den Objecttisch bringt Nachet ein in eine kurze Röhre *abcd* eingeschlossenes Glasprisma *e*, welches dergestalt geschliffen ist, dass die Lichtstrahlen parallel mit der Axe auf die untere Fläche treffen, dann zweimal vollständig reflectirt werden und hierauf, je nach dem Verhältniss der Winkel des Prisma, bei *o* unter einem mehr oder weniger spitzen Winkel auf das Object treffen. Dasjenige, welches Nachet der französischen Akademie vorlegte, ertheilte den Strahlen eine schiefe Richtung von 30° im Verhältniss zur Axe. Er gab zugleich an, man könne ein solches Prisma auch mit convexen Oberflächen schleifen, so dass es zugleich als Beleuchtungslinse diente, und diese Form ist in dem abgebildeten Apparate vorhanden, der zu einem Mikroskope vom Jahre 1849 gehört. Die kurze röhrenförmige Kapsel kommt in die nämliche Oeffnung des Hebelapparats, in welche die röhrenförmigen Diaphragmen passen.

Fig. 335.



Nachet's Beleuchtungsapparat.

Ich erkenne das Sinnreiche dieser Erfindung vollkommen an; offenbar steht sie aber in Brauchbarkeit dem an einer Kurbel befestigten Spiegel nach, da dieser nicht so theuer ist und auch gestattet, das Licht unter verschiedenen Winkeln auf das Object fallen zu lassen. Nachet giebt zwar an, es sei ihm vorgekommen, als sei die Wirkung für Winkel von 20° bis 40° die nämliche gewesen. Indessen kann das nicht ganz richtig sein, und überdies ist auch ein Winkel von 40° nicht die äusserste Grenze für die Benutzung des schief einfallenden Lichts. Bei manchen Objecten ist es mir vorgekommen, als wäre auch bei einer Beleuchtung unter einem Winkel von 60° noch etwas zu gewinnen. Nur für jenen Fall empfiehlt sich dieses Prisma wirklich, für den es Nachet selbst bestimmt hat. Es steht aber zu erwarten, dass der trommelförmige Fuss bald ganz auf-

gegeben wird und man nur solche Gestelle verfertigt, bei denen der Spiegel frei bewegt werden kann. Bei den neueren Mikroskopen Nachet's kann der Spiegel ebenfalls ausserhalb der Axe des Instruments angebracht werden; ja für den Fall, dass die Dicke des Objecttisches dem Zutritte sehr schief auffallender Strahlen hinderlich wäre, sobald der Spiegel in bedeutenderem Grade ausserhalb der Axe gerückt wird, fügt er jetzt seinen grösseren Mikroskopen einen Hülfsobjecttisch bei, der unter den eigentlichen Objecttisch kommt und woran die Objecte durch eine Art Klammer festgehalten werden. Das Mikroskoprohr wird dann durch die Oeffnung des Objecttisches geschoben, bis das Objectiv nahe genug über das Object gekommen ist.

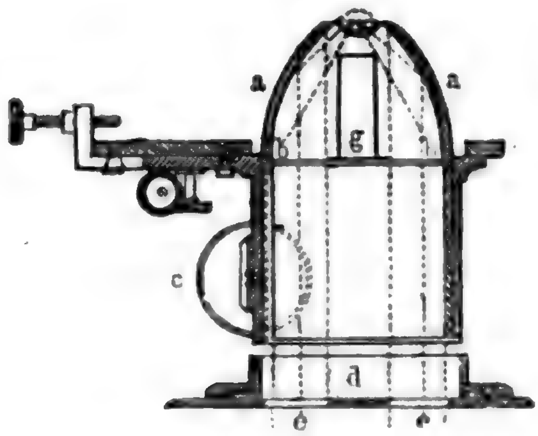
Die Bewegung des Spiegels in der Axenrichtung, vermöge deren er höher und tiefer gestellt werden kann, gehört nicht zu den unerlässlichen Forderungen; sie fehlt an den Mikroskopen von Ross, Plössl, Schiek, Amici, Brunner, sowie an den älteren Oberhäuser'schen. Diese letzteren sind noch durch die Eigenthümlichkeit ausgezeichnet, dass der Focus des Hohlspiegels gerade auf das auf dem Objecttische befindliche Object fällt. Späterhin hat Oberhäuser dies aufgegeben und den Spiegel so eingerichtet (Fig. 289, S. 706), dass die ihn tragende Kurbel in senkrechter Richtung hinauf und herunter geschoben werden kann, und da der Hohlspiegel nur einen kurzen Focus von 47 Millim. hat, so ist es möglich, ein convergirendes und durch Tieferstellen des Spiegels auch ein divergirendes Strahlenbündel auf das Object fallen zu lassen. An den Mikroskopen von Pritchard, Powell, Smith ist der Spiegel ebenfalls nach oben und nach unten verschiebbar; die Brennweite der Hohlspiegel ist aber hier, wie bei den meisten übrigen Mikroskopen, grösser als der äussere Abstand zwischen Object und Spiegel, so dass immer ein convergirendes Strahlenbündel zum Gesichtsfelde gelangt.

Da die Erfahrung dargethan hatte, dass die excentrische Stellung 475
des Spiegels grosse Vortheile darbietet, so bemühte man sich, andere Einrichtungen ausfindig zu machen, wodurch der Hauptzweck, das Object durch schief einfallendes Licht mit Ausschluss der in der Nähe der Axe eintretenden Strahlen zu beleuchten, noch vollkommener erreicht würde.

In dieser Beziehung ist zunächst das Paraboloid von Wenham (*Microscop. Transact.* 1851) zu nennen, welches im verkleinerten Maassstabe in Fig. 336 a. f. S. dargestellt ist. Es stellt nämlich *aa* ein aus Silber verfertigtes Paraboloid dar, dessen Innenfläche gut polirt ist, und dessen Brennweite $^1/_{16}$ engl. Zoll beträgt. Die Spitze dieses Paraboloids ist so weit abgeschnitten, dass sein Brennpunkt mit der Oberfläche der dicksten Glasplättchen coincidirt, die man als Objecttäfelchen zu benutzen pflegt. An der Basis des Paraboloids befindet sich eine dünne Glasplatte *bb*; auf diese ist ein geschwärzter kleiner Cylinder *g* gesetzt, dessen Rand der obern Oeffnung des Paraboloids gleichkommt, damit alle zunächst der Axe einfallenden Strahlen abgeschnitten werden. Es gelangt

daher kein directes Licht vom Spiegel zum Objecte, sondern dieses wird nur durch die von allen Seiten reflectirten Strahlen, die im Brennpunkte zusammentreffen, beleuchtet. Es gehört ferner zu dem kleinen Apparate ein Trieb mit dem Knopfe *c* zum Höher- und Tieferstellen, sowie ein drehbares Diaphragma *d* mit zwei in dem einen Durchmesser befindlichen Oeffnungen *ee*, so dass zwei Lichtbündel in entgegengesetzten Richtungen reflectirt werden. Die oberste Oeffnung endlich ist durch einen Meniscus geschlossen, um dadurch die Aberration der Lichtstrahlen beim Durchgange durch die Glasplättchen zu verbessern, die den Objecten etwas Farbiges und Nebelhaftes verleiht. Auch ist dadurch der Zutritt von Luft und von Dünsten abgeschnitten, was die Erhaltung des Glanzes der innern Fläche sichert.

Fig. 336.



Wenham's Paraboloid.

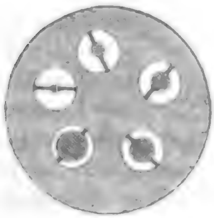
Aus eigener Erfahrung kenne ich die Brauchbarkeit dieses Apparates nicht; indessen zweifle ich nicht daran, dass er in einzelnen Fällen recht gute Dienste leisten kann. Nur schade, dass die grosse Mühe, welche die Herstellung eines solchen Paraboloids verursacht und der dadurch bedingte hohe Preis desselben viele abhalten wird, sich dasselbe anzuschaffen.

Die hierbei zu Grunde liegende Idee lässt sich nun aber, wenn auch nicht auf vollkommen gleiche Weise, auf einem andern Wege und mit weniger Kosten zur Ausführung bringen. Es kommt nämlich nur darauf an, von der Seite her schief auftreffende Strahlen den Objecten zuzuführen, und alle näher der Axe befindlichen weniger schief auffallenden Strahlen abzuhalten; denn diese Mittelstrahlen, weit davon entfernt, einen vortheilhaften Einfluss zu üben, tragen nur dazu bei, dass die kleinen Unebenheiten, welche durch die Randstrahlen hervortreten, wiederum zum Verschwinden gebracht werden. Es verhält sich in gewisser Beziehung hiermit ähnlich, wie mit den Linsensystemen, bei denen das Unterscheidungsvermögen hauptsächlich von den Randstrahlen abhängt, welches daher, statt abzunehmen, sich eher verstärkt, wenn man ein kleines Scheibchen auf das Objectiv legt und dadurch die Axenstrahlen abhält. Solche Scheibchen kann man nun auch in die Axe des Beleuchtungsapparates einschieben, entweder einzeln für sich, oder indem man sie an die Speichen eines kleinen Rades befestigt, oder indem man sie, wie in Fig. 337, in den Oeffnungen einer um eine Axe sich drehenden Messingscheibe anbringt, oder endlich, indem man sie hinter einander auf eine in einen Messingrahmen gefasste kleine Glasplatte klebt (s. Fig. 346, S. 844). Diese

verschiedenen Methoden laufen in der Hauptsache auf das Nämliche hinaus und es ist ziemlich einerlei, welcher von ihnen man den Vorzug giebt.

Es versteht sich aber von selbst, dass ein solches Diaphragma nichts hilft, wenn der Beleuchtungsapparat paralleles Licht ins Gesichtsfeld sendet, und dass es auch sehr wenig leisten wird, wenn derselbe nur aus einem Hohlspiegel besteht, wodurch blos eine geringe Convergenz oder Divergenz der Strahlen hervorgebracht wird. Soll es wirken, so muss es unter einer Linse oder einem Linsensystem von kurzer Brennweite angebracht werden, wodurch das vom Spiegel reflectirte Licht stark convergirend oder divergirend wird; dann werden die Randstrahlen, welche in sehr schiefer Richtung ins Gesichtsfeld treten, dasselbe leisten, wie die Strahlen, welche durch Wenham's Paraboloid reflectirt werden.

Fig. 337.



Drehbare Scheibe zum Abhalten der Axenstrahlen des Beleuchtungsapparates.

Zwischen beiden besteht allerdings noch ein Unterschied, insofern nämlich beim Paraboloid die chromatische und bei recht vollkommener Ausführung auch die sphärische Aberration fehlt, die auch beim besten achromatischen Linsensysteme nicht ganz vollständig beseitigt ist. Ich bezweifle jedoch, dass dieser Mangel wirklich auf das Sichtbarwerden der Strichelchen schwieriger Probeobjecte einigen Einfluss übt.

Beleuchtungsapparate, womit nach Willkür die Randstrahlen oder die Axenstrahlen vom Eintritte ins condensirende Linsensystem abgehalten werden können, sind in England nach Gillett's Vorgange schon seit mehreren Jahren in Gebrauch, und Ross, Powell und Lealand, ebenso Smith und Beck geben dergleichen zu ihren grossen Mikroskopen. Hierher gehört auch Shadbolt's *Sphero-annular condensor*, der nur eine Modification von Wenham's Paraboloid ist. Das Einfachste jedoch ist, man nimmt die bereits oben (§. 210, Fig. 118) beschriebene ziemlich hemisphärische Linse, auf deren flache Seite eine schwarze Scheibe geklebt wird, befestigt sie in einer kurzen Hülse und trifft eine Einrichtung, vermöge deren sie unter dem Objecttische höher oder tiefer gestellt werden kann. Schon seit einiger Zeit wurde manchem englischen Mikroskope eine solche Linse beigegeben zur Beleuchtung auf einem dunkeln Hintergrunde, ehe Dr. Hall (*Quart. Journ.* 1856, Nr. XV, p. 207) darauf aufmerksam machte, dass die nämliche Linse bei stärkeren Objectiven sehr geeignet ist, die Strichelchen schwerer Probeobjecte sichtbar zu machen und theurere Beleuchtungsapparate ersetzen kann. Ich habe eine solche hemisphärische Linse mit kurzer Brennweite (10 Millim.) hierzu auch sehr passend gefunden, wenngleich das ganze Sehfeld dadurch etwas Nebliges bekommt, wahrscheinlich in Folge der starken sphärischen Aberration der Randstrahlen, und ich erachte dieselbe für eine sehr zweckmässige Beigabe der kleineren,

mit weniger guten Beleuchtungsapparaten versehenen Mikroskope, deren Preis dadurch nur wenig erhöht werden kann.

476 Es ist klar, wenn der concave Spiegel sich auf- und niederbewegen lässt, so ist damit schon ein Mittel geboten, das Licht stärker und schwächer zu machen, weshalb man für diesen Zweck eigentlich keine Linsen oder Linsensysteme in die Bahn der Strahlen zu bringen braucht. Indessen verknüpfen sich mit diesen eigene Vortheile, weshalb ihnen viele nicht ohne Grund den Vorzug geben. Zunächst lässt sich eine Linse viel leichter auf- und niederschieben, als der viel schwerere Spiegel; sodann aber kann man, wenn man einen Hohlspiegel mit einer Linse vereinigt, den Lichtstrahlen die verschiedenartigsten Richtungen ertheilen, wie früherhin (§. 205) entwickelt worden ist. Wenn auch keiner der jetzt gebräuchlichen Beleuchtungsapparate ganz nach den dort entwickelten Principien eingerichtet ist, so zweifle ich doch nicht daran, dass dieselben bald allgemeinere Anwendung finden werden, da Theorie und Erfahrung für dieselben sprechen.

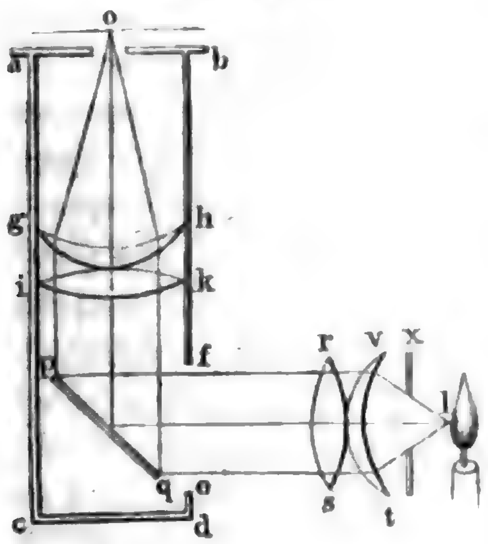
Brewster (*Treatise*, p. 135) wies wissenschaftlich nach, die Beleuchtung mikroskopischer Objecte sollte immer eine solche sein, dass sich das Object gerade im Vereinigungspunkte der Strahlen befindet, das Licht also, welches ins Mikroskop eintritt, von Einem Punkte aus divergirt. Dieses Princip wurde in dem Beleuchtungsapparate Wollaston's (*Philos. Transact.* 1829, p. 9) festgehalten, der zu dessen einfachem Mikroskope mit seinen Doublets gehört und in Fig. 247, S. 627 dargestellt ist. Das Licht fällt hier auf den flachen Spiegel *f*, geht bei *i* durch die Oeffnung eines kurzen Röhrchens, erreicht dann die planconvexe Linse *e* und concentrirt sich bei *o* auf dem Objecte. Wollaston wollte alles so eingerichtet haben, dass an der Stelle des Objects ein scharfes Bild der Oeffnung bei *o* gesehen würde; um dies besser zu können, sollte in diese Oeffnung mit Wachs ein Faden geklebt werden, dessen Bild scharf auf dem Objecttische hervortreten müsste.

Brewster hob aber mit Recht hervor, es geschehe auf diese Weise dem zu erfüllenden Principe durchaus keine Genüge: sieht man das Bild der Oeffnung scharf, dann haben sich die parallelen Strahlen, welche durch den Spiegel reflectirt werden, bereits unterhalb des Objects in Einem Punkte vereinigt und auf das Object selbst fällt dann ein Bündel divergirender Strahlen. Die Richtigkeit dieses Princips für alle Fälle ist indessen nicht über jeden Zweifel erhoben, und daraus erklärt sich auch das Schicksal des Wollaston'schen Beleuchtungsapparates, nachdem ihn Goring auf das zusammengesetzte Mikroskop übertragen hatte, und zwar mit der Veränderung, dass die Linse in einer unter dem Objecttische befindlichen, nach unten kegelförmig zulaufenden Röhre höher und tiefer gestellt werden konnte.

477 Der planconvexen Beleuchtungslinse Wollaston's, deren gerade Fläche aufwärts gerichtet ist, liegt schon der Gedanke zu Grunde, den

Einfluss der sphärischen und chromatischen Aberration minder schädlich zu machen. Brewster ging aber weiter und meinte, der Beleuchtungsapparat müsse gleich frei davon sein, wie der übrige optische Theil des Mikroskops. Er benutzte daher den in Fig. 338 abgebildeten Beleuchtungsapparat. Hier ist *abcd* eine innengeschwärzte Röhre, die $1\frac{1}{2}$ bis 2 engl. Zoll lang ist. Dieselbe hat bei *ef* eine Oeffnung und muss durch ein Gelenk oder sonst auf eine Weise mit dem Objecttische verbunden sein, so dass die Axe der Röhre zwischen 90°, als der gewöhnlichen Stellung, und 60° oder noch weniger geneigt sein kann, je nachdem es die Umstände erfordern. Ueberdies muss sie sich um ihre Axe drehen können. In der Röhre befindet sich das Doublet *gh* und *ik*, welches aberrationsfrei ist und $\frac{1}{2}$ bis 1 Zoll Brennweite hat; dasselbe lässt sich durch einen Trieb höher und tiefer stellen, so dass sein Brennpunkt für parallele Strahlen oder der Vereinigungspunkt der divergirenden Strahlen gerade auf *o* fällt, wo das zu untersuchende Object liegt. Etwas unterhalb befindet sich ein ebener Metallspiegel *pq*, welcher das durch die Oeffnung *ef* eindringende Licht zum Doublet reflectirt.

Fig. 338.



Brewster's Beleuchtungsapparat.

Bei der Beleuchtung mit künstlichem Lichte benutzt Brewster noch ein zweites Doublet *rs* und *vt*. Die Lichtflamme befindet sich in dessen Brennpunkte *l* und damit wird erreicht, dass ein Bündel paralleler Strahlen auf den Spiegel fällt. Zwischen die Flamme und dieses Doublet kommt noch ein Diaphragma *xy* mit verschieden grossen Oeffnungen. Bei kreisförmigen Objecten giebt er runden Oeffnungen den Vorzug, bei gestreiften Objecten nimmt er lieber spaltenförmige Oeffnungen.

Zur Beseitigung der chromatischen Aberration schlug er zwei Wege vor, entweder die Beleuchtungslinsen achromatisch zu machen, oder einfarbiges Licht zu verwenden. Letzteres will er wieder auf verschiedene Weise zu Stande bringen. So empfiehlt er eine Art Lampe, in deren Behälter sich verdünnter Weingeist befindet; dieser sinkt allmälig in eine kleine metallene Schüssel, unter welcher eine zweite Alkohollampe brennt und den verdünnten Weingeist erwärmt, der, wenn er angezündet wird, mit gelber Flamme brennt. Statt des verdünnten Weingeistes kann auch eine Solution von Küchensalz in Weingeist genommen werden; eine gewöhnliche damit gefüllte Alkohollampe giebt eine gelbe Flamme, und durchs Prisma kann man sich leicht davon überzeugen, dass das Licht beinahe monochromatisch ist. Nach Brewster soll es durch concentrirende Linsen möglich sein, dieses Licht so zu verstärken, dass alle mikrosko-

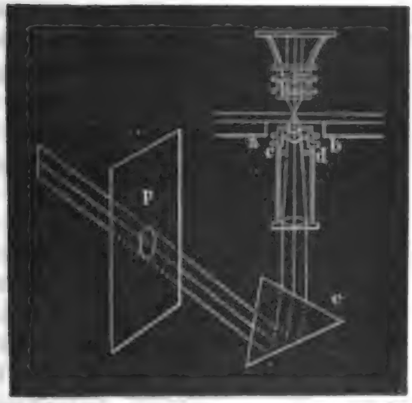
pische Beobachtungen sich damit ausführen lassen. Das hat mir aber eben so wenig gelingen wollen, als Goring (*Micrographia*, p. 79); das Licht einer solchen Flamme ist so schwach, dass es nur bei sehr schwachen Vergrösserungen benutzt werden kann. Brewster hat aber noch einen andern Apparat empfohlen, um eine Flamme mit einfarbigem Lichte zu bekommen. Ein Behälter, mit comprimirtem Leuchtgas gefüllt, ist so eingerichtet, dass sich das Gas beim Ausströmen mit atmosphärischer Luft vermengt und dann durch einen ringförmigen Docht tritt, der mit einer Salzsolution getränkt ist. Wird es darüber angezündet, so brennt es mit gelber Flamme, und diese soll stärker sein als die vorher genannte. Aus eigener Erfahrung vermag ich über die Zweckmässigkeit dieser Einrichtung nichts anzugeben. Was indessen die anderen von Brewster auch noch empfohlenen Mittel betrifft, dass man das Licht durch verschiedenartige gefärbte Medien gehen lässt, oder dass man den Spiegel gegen einen bestimmten Abschnitt des Spectrums wendet, so darf man diese unbedenklich für ganz unbrauchbar erklären, ohne dass es nöthig sein wird, alle Gründe für diesen Ausspruch hier anzuführen. Nur drei Hauptpunkte erwähne ich, weshalb die monochromatische Beleuchtung für alle Zeiten ein sehr unvollkommenes Hülfsmittel bleiben wird: 1. Es ist nicht möglich, auf irgend eine Weise vollkommen einfarbiges Licht zu erhalten, d. h. ein solches, welches aus Strahlen von gleicher Brechbarkeit besteht. 2. Jedes Licht, das sich einem solchen nähert, ist durch die Mittel, wodurch man es erhält, so geschwächt, dass dasselbe zu etwas stärkeren Vergrösserungen nicht verwendbar ist. 3. Jedem farbigen Lichte fehlt der grosse, dem weissen Lichte zukommende Vorzug, einen starken Contrast zu dem schwarzen Schatten zu bilden, wodurch die Objecte bei durchfallendem Lichte allein noch erkennbar werden.

478 Aus diesen Gründen darf der im Jahre 1838 von Dujardin (*L'institut*, Nr. 247, 307) beschriebene Beleuchtungsapparat, der sich in der Hauptsache allerdings auch auf das Brewster'sche Princip stützt, als eine Verbesserung angesehen werden. Derselbe ist Fig. 339 dargestellt. Das Licht wird hier ebenfalls durch einen Spiegel oder noch besser durch das Prisma *e* aufgefangen. Dasselbe wird dann concentrirt durch ein Objectivsystem *ab* aus zwei oder drei achromatischen Doppellinsen, deren ebene Flächen nach aufwärts sehen. Die Entfernung vom Objecttische ist eine veränderliche, damit der Brennpunkt gerade aufs Object trifft. Um das Licht abzuhalten, welches nicht zur Beleuchtung des Objects dient, sind zwei Diaphragmen angebracht, das eine, *p*, vor dem Spiegel oder dem Prisma, das andere, *cd*, unter der das Object einschliessenden Röhre. Trécourt und Oberhäuser haben auf diesen Apparat ein Patent genommen und letzterer giebt ihn auch auf Verlangen seinen Mikroskopen um den Preis von 50 Francs bei.

Das Beispiel Dujardin's ist späterhin von anderen befolgt worden. Einer ähnlichen Einrichtung bei den neueren Mikroskopen Amici's ist

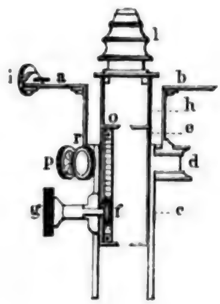
schon oben (§. 436) gedacht worden. Vorzüglich aber haben die englischen Optiker mit ihrer gewöhnlichen Kunstfertigkeit den achromatischen Beleuchtungsapparat in mechanischer Beziehung sehr verbessert und sie geben ihn gegenwärtig stets zu ihren grösseren Mikroskopen. Ross, Powell, Smith verfertigen ihn, abgerechnet einige kleine Modificationen, in den Hauptpunkten auf die nämliche Weise; ich will daher nur die von Ross gewählte Einrichtung beschreiben, welche in Fig. 340 im

Fig. 339.



Dujardin's Beleuchtungsapparat.

Fig. 340.



Beleuchtungsapparat von Ross.

Durchschnitte dargestellt ist. Durch die Platte *a b* wird der ganze Apparat an den Objecttisch befestigt; *c* gehört zu einem weiten Rohre, mit dem ein Ring *d* verbunden ist, und in dieses ist ein engeres Rohr *e* eingelöthet mit einem bei *f* befindlichen Triebe, dessen geränderter Knopf bei *g* hervorsteht. In diesem zweiten Rohre steckt ein noch engeres Rohr *h*, welches oben einen Schraubengang hat, um das Linsensystem *l* darauf zu befestigen, unten aber das Diaphragma *o* besitzt, um das überflüssige Licht abzuhalten. Durch Umdrehen des Knopfes *g* kann dieses innerste Rohr auf- und niedergeschoben werden. Mehrere Schrauben dienen dazu, die Axe dieses Apparates mit der Axe des Mikroskoprohrs in Coincidenz zu bringen: durch die Schraube *i* wird die Platte *a b* horizontal bewegt, und drei oder noch mehr andere (zwei davon sind bei *p* und *r* sichtbar), welche durch den Ring gehen, sind dazu bestimmt, das innerste Rohr in verschiedenen Richtungen zu bewegen. Ohne das achromatische Linsensystem kostet dieser Apparat 2 Pfund Sterling.

Was die Beleuchtungslinsen selbst betrifft, so gilt es bei den englischen Mikroskopen als Regel, dass jenes Objectiv in den Beleuchtungsapparat kommt, welches dem als wirkliches Objectiv gebrauchten in der Schärfe vorhergeht. Kommt es aber nicht auf die Kosten an, so wird ein System von drei achromatischen Doppellinsen beigegeben, die ausdrücklich dafür bestimmt sind: zum stärksten Objective nimmt man dieses gesammte System, zu den Objectiven von mittlerer Stärke benuzt man

zwei von diesen Doppellinsen, und bei schwächeren Vergrösserungen nur eine einzige. Dabei findet die Anweisung statt, dafür zu sorgen, dass das Bild der Lichtquelle, also die Flamme einer Lampe oder eine weisse Wolke, genau auf die Stelle des Objects fällt und zwar so, dass der Mittelpunkt des Bildes in der Axe des Instruments liegt.

Ein Nachtheil klebt allen bisher beschriebenen Beleuchtungsapparaten an: sie passen nur zur centrischen Beleuchtung, da die Linsen in den Röhren sich nicht in eine schiefe Stellung bringen lassen, also kein excentrisches concentrirtes Licht auf das Object zu leiten vermögen. Dies fällt selbst mit einem achromatischen Linsensystem sehr schwer und bedarf man eines solchen Lichtes, dann leistet ein einzelner Hohlspiegel bessere Dienste, oder eine planconvexe Linse, die, gleich wie in Amici's Mikroskope (Fig. 294, S. 719), an einer besondern Stange unterhalb des Objecttisches sich auf- und niederschieben lässt und auch zur Seite gedreht werden kann.

479 Das jetzt am meisten gebräuchliche Diaphragma ist die drehbare, mit Löchern versehene Scheibe, welche schon oben (Fig. 334, S. 830) dargestellt worden ist. Sie findet sich bei den Mikroskopen von Chevalier, Lerebours, Brunner, bei den kleinen Mikroskopen Oberhäuser's, bei den Instrumenten von Powell, von Ross, von Smith. Bei den drei letzteren ist sie an einer besondern Platte befestigt, die man nach Belieben unter den Objecttisch bringen und wieder wegnehmen kann, wenn man den achromatischen Beleuchtungsapparat gebrauchen will. Statt der drehbaren Scheibe nahm Goring bei seinem katadioptrischen Mikroskope eine verschiebbare Platte mit mehreren Oeffnungen. Eine ähnliche Art von Diaphragmen benutzt auch Nachet bei seinen kleineren Mikroskopen. Die Wirkung ist ziemlich die nämliche; allein eine solche Platte ist weniger bequem als eine Scheibe, die sich durch den eingekerbten Rand viel leichter mit Einem Finger herumdrehen lässt.

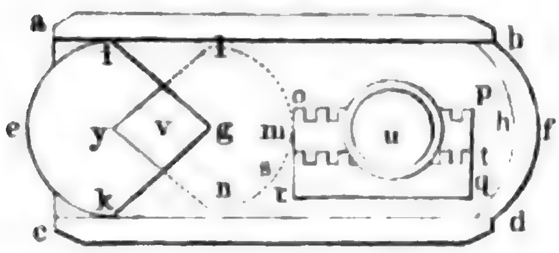
Oberhäuser und Powell geben zu ihren Mikroskopen noch ein anderes drehbares Diaphragma, welches grösser als das vorige ist, aber gleich diesem aus einer Scheibe mit runden Oeffnungen von verschiedener Grösse besteht. Dieses Diaphragma kommt perpendikulär oder unter einem bestimmten Neigungswinkel auf ein dazu bestimmtes Fussstück, zwischen die Lichtquelle und den Spiegel. Es passt dieses Diaphragma hauptsächlich bei künstlichem Lichte, um den Duchmesser des divergirenden Lichtkegels, der auf den Spiegel fällt, zu verändern.

Einer andern Art von Diaphragmen bedienen sich Oberhäuser und Varley, und dem erstern folgt darin Nachet bei seinen Mikroskopen mit trommelförmigem Fusse. Varley beschrieb sie 1831 als *Camera obscura* (*dark chamber*) in den *Transact. of the Soc. of arts.* Vol 48. Es sind nämlich, wie in der Nebenfigur von Fig. 287, S. 703 zu sehen ist, kurze Röhrchen, die oben geschlossen sind und dort bei *o* eine grössere oder kleinere Oeffnung besitzen. Bei jenen, welche zu dem auf S. 706

beschriebenen Mikroskope gehören, haben diese Oeffnungen Durchmesser von 4,1 und 0,5 Millimeter. Die kleinsten sind für die stärksten Linsensysteme bestimmt. Ein solches Röhrchen kommt in eine weitere Röhre (*qp* in Fig. 287) unter dem Objecttische, die ihrerseits in die runde Oeffnung einer Platte passt, worin sie sich auf- und niederbewegen kann, um auf diese Weise das vom Spiegel kommende Lichtbündel verschmälert oder mehr breit eindringen zu lassen. Bei den älteren Oberhäuser'schen Mikroskopen geschieht es durch einen Hebel, und die Diaphragmen können nur nach Entfernung des Objects gewechselt werden. Dies ist bei den neueren Instrumenten, wie Fig. 289 *A*, S. 706, verbessert. Die Platte nämlich, worin sich die das Diaphragma *a* enthaltende Röhre *p* auf- und niederbewegt, ist in den beiden schwalbenschwanzförmigen Leisten *rr* verschiebbar und kann herausgezogen werden, wenn man ein Diaphragma mit einem andern vertauschen will. Damit verbindet sich auch noch der Vortheil, dass man die Oeffnung, wenn es gewünscht wird, ausserhalb der Axe bringen kann, wo dann der Schatten ihres Randes ins Gesichtsfeld trifft, was in einigen Fällen recht vortheilhaft sein kann.

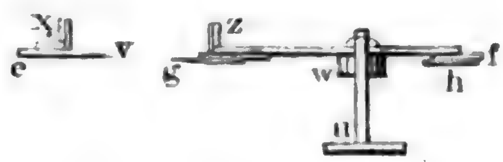
Ein Diaphragma von ganz eigenthümlicher Construction, das meines Wissens noch nicht beschrieben worden ist, befindet sich an einem in Utrecht befindlichen Mikroskope von Dollond. Dasselbe ist von der untern Seite in Fig. 341 und im Durchschnitte in Fig. 342 dargestellt.

Fig. 341.



Diaphragma eines Dollond'schen Mikroskops von unten.

Fig. 342.



Diaphragma eines Dollond'schen Mikroskops im Durchschnitte.

Die länglich vierseitige Platte *abcd* hat zwei seitliche Leisten, die rinnenförmig ausgeschweift sind, um zwei andere Platten aufzunehmen, die übereinander gleiten können. Diese letzteren haben rechtwinkelige Ausschnitte und bilden so zusammen eine vierseitige Oeffnung *v*, deren Grösse je nach der relativen Stellung beider Platten wechselt. In der ersten dieser Platten, nämlich *ef*, kommen zwei Oeffnungen vor, *ylmn* und *oprq*, welche letztere längs des Randes *op* gezahnt ist. Die zweite oder untere von den beweglichen Platten, nämlich *gh*, ist die kleinere; an ihrem äusseren Ende *g* ist der rechtwinkelige Ausschnitt *igk*, und in der Nähe des andern Endes befindet sich auch eine länglich vierseitige Oeffnung mit dem gezahnten Rande *st*. Der geränderte Knopf *u*, den man in beiden Figuren sieht, setzt das gezahnte Rad *w* in Bewegung, dessen Zähne zu beiden Seiten in die Zähne der beiden Platten eingreifen; diese bewegen sich daher gleichzeitig in entgegengesetzten Richtungen über einander,

und dadurch wird die Oeffnung *v* grösser oder kleiner. Damit die Ränder dieser Oeffnung möglichst in der nämlichen Ebene liegen, sind die Messingplatten an derselben keilförmig zugeschärft, wie man in Fig. 342 sieht. Die feste Platte *abcd* hat gleich über *v* eine runde Oeffnung mit einem Ringe *xz*, wodurch das Diaphragma unter dem Objecttische angeschraubt wird.

Diese Einrichtung gestattet alle Stufen der Lichtintensität einwirken zu lassen. In dieser Beziehung wetteifert damit die von Al. Bryson (*Edinb. new Philos. Journ.* 1850. Jan. p. 19) empfohlene Einrichtung, der zwei Nicols'sche Prismen unter den Objecttisch bringt, von denen das eine sich um seine Axe drehen kann. Indessen lassen solche Kalkspathprismen nur einen Theil des Lichtes durch, welches durch den Spiegel reflectirt wird, und zweitens ist diese Einrichtung auch viel zusammengesetzter und deshalb kostbarer, als die eben beschriebene.

480 Einen Beleuchtungsapparat ganz nach den Principien, die ich oben (§. 201 u. flg.) ausführlicher entwickelt habe, lieferte mir 1850 Nachet, und ich beschrieb ihn in *Nederl. Lancet*, 2*de Serie.* VI, p. 457. Später habe ich durch die Instrumentenmacher Straatemeyer und Olland in Utrecht noch einige Verbesserungen daran anbringen lassen. Mit diesem Apparate sind folgende Beleuchtungsweisen ausführbar:

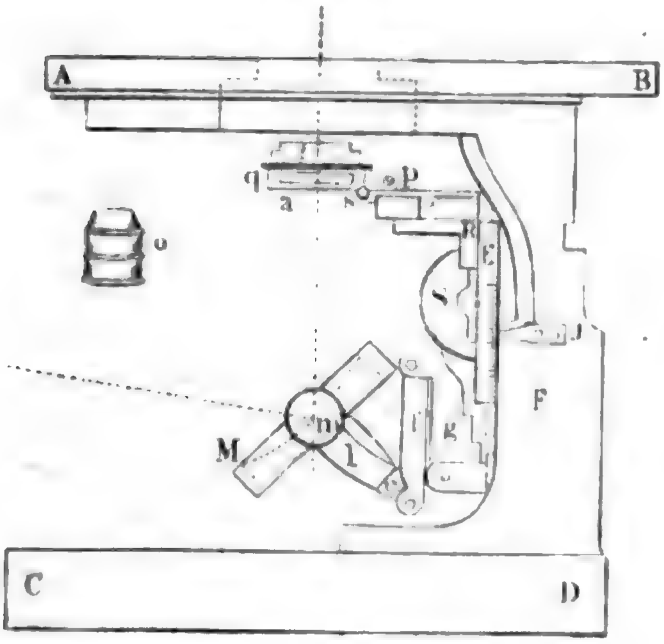
1. mit gewöhnlichen parallelen Strahlen;
2. mit concentrirtem parallelem Lichte;
3. mit divergirendem Lichte von verschiedenem Divergenzgrade;
4. mit convergirendem Lichte von verschiedenem Convergenzgrade;
5. mit schief einfallendem Lichte, und zwar unter verschiedenen Einfallswinkeln, bei parallelen sowohl als bei convergirenden oder divergirenden Strahlen;
6. mit Axenstrahlen, unter Ausschluss von mehr oder weniger vielen Randstrahlen;
7. mit Randstrahlen, unter Ausschluss von mehr oder weniger vielen Axenstrahlen.

Dieser Beleuchtungsapparat ist in halber Grösse in Fig. 343, 344 und 345 dargestellt, und zwar so, wie er an ein grosses Oberhäuser'sches Mikroskop befestigt ist. Er kann aber auch an jedes andere Mikroskop kommen, wo zwischen dem Objecttische und dem Fusse des Instruments (sie sind in den Figuren mit *AB* und *CD* bezeichnet) hinreichender Raum übrig bleibt.

Der Spiegel *M* ist auf der einen Seite eben, auf der andern concav; die Brennweite des Concavspiegels beträgt 45 Millimeter. Der Spiegel hängt auf gewöhnliche Weise in dem Bügel *l*, der nach unten mit dem Stück *e* in Verbindung steht mittelst eines Stiftes, um den er sich drehen kann. Bei centrischer Stellung des Spiegels, wie in Fig. 343, wo sein Mittelpunkt in der optischen Axe des ganzen Instruments liegt, ist er daher nur in der horizontalen und verticalen Ebene beweglich.

Für die excentrische Stellung sind die durch Charniergelenke verbundenen Stücke *e*, *f* und *g* bestimmt, deren Einrichtung aus Fig. 344 ersichtlich ist. (Die verschiedenen Einschnitte am Stücke *g* dienen blos dazu, für die Bewegung des Stückes *E* Raum zu schaffen.) Durch diesen gegliederten Arm kann man den Spiegel mannigfach gegen die Fläche des Objecttisches neigen, von 40° bis zu 90°, oder in Beziehung zur optischen Axe von 0° bis 50°.

Fig. 343.



Eine planconvexe Linse *i* von 13,5 Millimeter Brennweite (wegen anderer Zwecke ist sie am besten achromatisch), die man nöthigenfalls mit einem achromatischen Linsensysteme von kürzerer Brennweite vertauschen kann, steckt in einem Ringe, der in einen zweiten

Fig. 344.

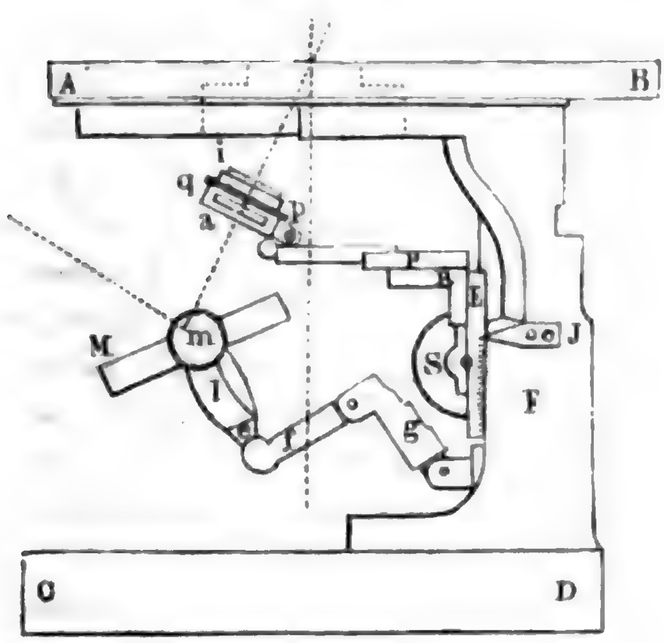
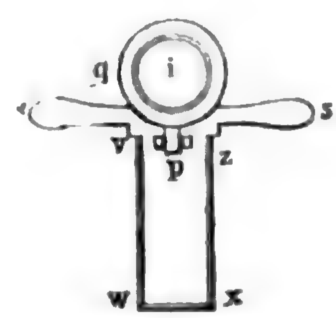


Fig. 345.



Harting's vollständiger Beleuchtungsapparat.

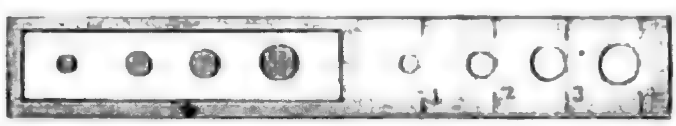
Ring *q* geschraubt werden kann. Der letztere, wie man Fig. 345 sieht, ist durch ein Charnier *p* mit der Platte *vwxz* verbunden; diese Platte aber hat schief abgeschnittene Ränder, und lässt sich auf dem Stücke *P* hin- und herschieben, zu welchem Ende beiderseits die kleinen Handhaben *ss* daran angebracht sind. Bei der stärksten Zurückschiebung befindet sich der Mittelpunkt der Linse oder des Linsensystems gerade in der optischen Axe.

Um die Linse oder das Linsensystem höher oder tiefer stellen zu können, ist das Stück *P* mittelst des knieförmig gebogenen Stücks *R* an *E* befestigt, welches durch einen Trieb, wozu der Knopf *S* gehört, auf- und abbewegt werden kann. Auf *E* ist aber eine Eintheilung in Millimeter eingeschnitten und durch den unbeweglichen Index *J* wird der relative Stand der Linse angegeben. In einer kleinen Tabelle kann man sich dann ein für alle Mal verzeichnen, was man späterhin beim Gebrauche dieses Beleuchtungsapparates zu wissen braucht.

Zunächst gehört zu diesem Beleuchtungsapparate ein Diaphragma welches eine Nachahmung des vorhin beschriebenen Dollond'schen Diaphragma (Fig. 341 und 342) ist; es wird mittelst einer Schraube unten an den Ring *q* befestigt. Damit kann man das Lichtbündel bis zu jedem gewünschten Grade verschmälern, indem man Randstrahlen abschneidet.

Da es aber in vielen Fällen vortheilhaft ist, wenn die Oeffnung des Diaphragma nicht gerade mitten unter der Linse sich befindet, so ist noch das in Figur 346 dargestellte Diaphragma beigegeben. Es ist eine länglich vierseitige Messingplatte mit ungleich grossen Oeffnungen, welche in dem die Linse tragenden Ringe hin- und hergeschoben werden kann. Zugleich ist auch noch mit dieser Platte ein kleiner Rahmen verbunden, worin sich eine Glastafel befindet, auf welche geschwärzte runde Stanniolscheibchen von ungleicher Grösse aufgeklebt sind. Kommen diese unter die Linse, so lässt sich damit ein mehr oder weniger grosser Theil der Axenstrahlen abschneiden. Der Rahmen und die damit verbundene Glasplatte haben eine solche Länge, dass, wenn sich ein solches undurchsichtiges Scheibchen genau mitten unter der Linse befindet, die gleichnamige Ziffer 1, 2, 3 oder 4 auf der andern Platte gerade unter den Rand des Objecttisches kommt; dadurch ist man in den Stand gesetzt, den Scheibchen eine centrische Stellung zu geben.

Fig. 346.



Diaphragma zu Harting's Beleuchtungsapparat.

Wie dieser Beleuchtungsapparat benutzt wird, ist leicht einzusehen. Sind die Brennweiten des Spiegels und der Linse oder des Linsensystems bekannt, so kann man mit Hülfe der eingeschnittenen Scala deren relative Abstände leicht dergestalt regeln, dass man nach Verlangen parallele, concentrirte oder nicht-concentrirte, divergirende oder convergirende Strahlen bei jeglicher Neigung zur Axe ins Gesichtsfeld zu leiten vermag. Dabei braucht man sich nur zu erinnern, dass, wenn die Entfernung zwischen der Linse und dem Hohlspiegel der Summe ihrer beiderseitigen Brennweiten gleichkommt, das Licht, welches durch die Linse tritt, aus parallelen Strahlen besteht. Stellt man die Linse tiefer, so nimmt die Divergenz der Strahlen zu, stellt man sie höher, so nimmt

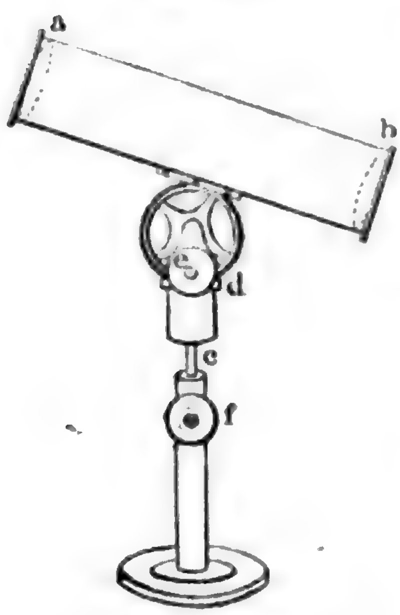
ihre Convergenz zu. Ebenso verhält es sich mit dem Linsensysteme: wegen der kürzern Brennweite desselben kann man aber die Strahlen stärker divergirend und convergirend machen.

Soll die Beleuchtung mit schief einfallendem Lichte stattfinden, so wird das Stück P nach vorn geschoben, ohne dass man den Spiegel zugleich ebenso bewegt. Will man aber ganz schief einfallendes Licht, dann wird auch der Spiegel nach vorn geschoben und den die Linse umfassenden Ring bringt man in eine geneigte Stellung, wie in Fig. 344.

Bei dieser excentrischen Stellung des Beleuchtungsapparates wirken dann die verschiedenen Diaphragmen ganz ebenso, als wenn sie sich in der Axe des Mikroskops befinden.

Die Beleuchtung mit auffallendem Lichte ist, wie wir gesehen haben, 481
beim zusammengesetzten Mikroskope seit der ältesten Zeit im Gebrauche. Weiter oben wurde schon angegeben, dass Hooke hier das Licht durch eine mit Wasser gefüllte Kugel und eine biconvexe Linse (Fig. 267, S. 659) verstärkte, — dass Hertel das nämliche Ziel durch einen Hohlspiegel in Verbindung mit einer Linse erreichte (Fig. 276, S. 671), — dass Leeuwenhoek, um undurchsichtige Objecte mit dem einfachen Mikroskope zu beleuchten, die Linse in die Mitte eines concaven Metallspiegels brachte (Fig. 219, S. 604), was Lieberkühn weiterhin allgemein einführte, Cuff aber auch aufs zusammengesetzte Mikroskop anwandte (Fig. 279, S. 674). Ein Apparat zur Beleuchtung undurchsichtiger Objecte wurde 1798 von Swaving (*Natuurkundige Verhandelingen van de Maatschappy der Wetenschappen te Haarlem* I, p. 41) beschrieben, welcher Fig. 347 dargestellt ist. Ein messingenes Rohr nämlich hat an beiden Enden die biconvexen Linsen *a* und *b*, durch deren vereinigte Wirkung das Licht verstärkt wird. Die Mitte des Rohres ruht auf dem obern Theile der Stange *c*, und kann hier durch das Rad *d* und den Knopf *e* unter verschiedenen Winkeln geneigt werden. Die Stange *c* kommt entweder in eine Oeffnung des Objecttisches, oder auf ein besonderes Fussstück, auf dem sie durch die Klemmschraube *f* höher oder tiefer gestellt werden kann.

Fig. 347.



Swaving's Beleuchtungsapparat.

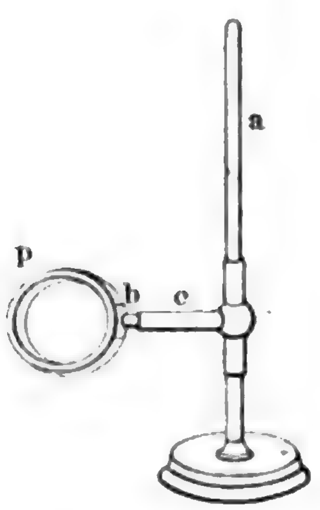
Es wurde ferner auch angeführt (S. 697), dass Selligue statt einer Beleuchtungslinse ein Prisma mit convexen Oberflächen anwandte und dass Plössl (Fig. 297, S. 730) dieses Beispiel nachahmte.

Die anderen Optiker indessen geben der Swaving'schen Einrichtung den Vorzug, und man findet sie fast bei allen neueren Mikroskopen, nur mit einigen untergeordneten Modificationen. Bei den Mikroskopen

von Chevalier, desgleichen von Amici (Fig. 294, S. 719), ist die Linse an einem gegliederten Arme angebracht, der entweder am Mikroskoprohre sitzt, oder an dem das Mikroskoprohr tragenden Arme. Bei dieser Einrichtung kann die Linse aber nur klein sein, wenn sie nicht zu schwer werden soll für die Gliederung; deshalb geben Oberhäuser und die englischen Optiker dem in Fig. 348 dargestellten Beleuchtungsapparate den Vorzug. Eine grössere Linse *p* kann hier an einer auf einem besondern Fussstücke ruhenden runden Stange *a* auf- und niedergeschoben werden; der Arm *b* aber, der die Linse trägt, dreht sich in einer horizontalen kurzen Röhre *c* und so kann die Linse in die verschiedenartigsten Neigungen gebracht werden.

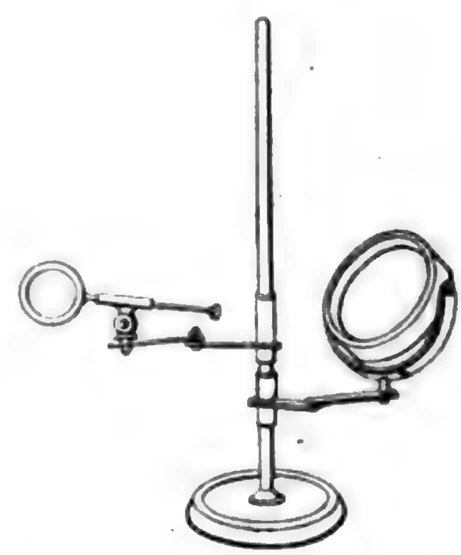
Manchmal ist es wünschenswerth, namentlich bei künstlichem Lichte, das durch die grössere Linse bereits concentrirte Licht durch eine kleinere Linse mit kürzerer Brennweite noch mehr zu concentriren. Das

Fig. 348.



Beleuchtungslinse von Ross.

Fig. 349.



Beleuchtungslinse nach Leonard.

kann durch die Leonard'sche Vorrichtung geschehen (Quekett l. l. p. 108), wie sie Fig. 349 zeigt, die wohl keiner weitern Beschreibung bedarf.

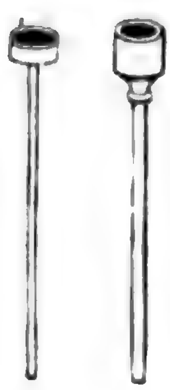
482 Bei stärkeren Vergrösserungen kann man die Concentration des auffallenden Lichtes nur durch kleine Hohlspiegel bewirken. Dergleichen lassen sich noch füglich benutzen bei Objectivsystemen von 5 bis 6 Millimeter Brennweite, die bis höchstens 300 Mal vergrössern. Viele Optiker fügen sie ihren Mikroskopen nur auf besonderes Verlangen bei; auch sind sie gegenwärtig offenbar nicht so nöthig, wie früherhin, wo die Objective eine kleinere Oeffnung hatten, ihre Lichtstärke daher auch eine geringere war. Manchmal indessen lassen sie sich noch recht gut anwenden; überdies unterscheiden sie sich auch in ihrer Wirkungsweise, wie oben (§. 208) dargethan worden ist, einigermaassen von den Beleuchtungslinsen, so dass sie zur Beleuchtung mancher Objecte sich mehr eignen. Nach einer Mittheilung Wenham's (*Quart. Journ.* 1856, XVI,

p. 55) hat **Ross** ein solches Spiegelchen gefertigt, das noch mit den stärksten Vergrösserungen zur Beleuchtung **unbedeckter** Objecte benutzt werden kann.

Um das Licht abzuhalten, welches von unten auf das Object fallen könnte, benutzt man am besten, wie es in England gebräuchlich ist, kleine muldenförmig ausgehöhlte Scheiben, die am Ende eines dünnen Stiels befestigt sind, wie in Fig. 350. Der kleine Stiel passt in einen Arm (z. B. Fig. 305 in *e*), der sich unter dem Objecttische befindet und gerade in die Mitte seiner Oeffnung gebracht werden kann, wo dann die muldenförmige Scheibe so hoch hinaufgeschoben werden kann, bis sie beinahe von unten an das Object stösst. In Fig. 351 ist dies im Durchschnitte dargestellt: *a* ist das Mikroskoprohr, *b* das Objectiv, *c* das concave Spiegelchen, *d* das Object, *e* das Scheibchen, wodurch die mittleren Strahlen abgehalten werden.

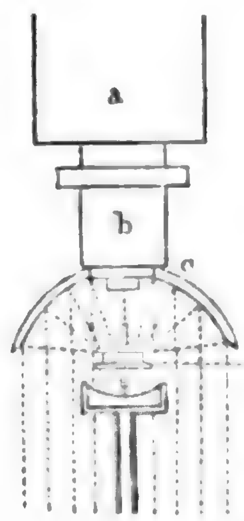
Ross hat vor mehreren Jahren einen andern reflectirenden Metallspiegel angegeben, welcher in Fig. 352 dargestellt ist. Mit demselben soll man das Object von der Seite her beleuchten, was natürlich mit dem

Fig. 350.



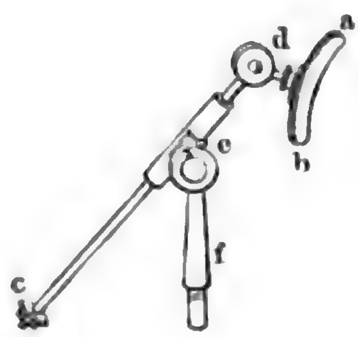
Gestielte Lichtstopfen.

Fig. 351.



Der Concavspiegel und der Lichtstopfen am zusammengesetzten Mikroskope.

Fig. 352.



Spiegelchen zur seitlichen Beleuchtung von Ross.

gewöhnlichen Hohlspiegel nicht möglich ist. Das Spiegelchen ist gelenkartig mit *c d* verbunden, welches durch ein Charnier *e* mit dem kurzen Stifte *f* zusammenhängt; letzterer kommt aber in eine Oeffnung des Objecttisches, seitlich vom Objecte, so dass das Spiegelchen sein Licht durch eine condensirende Linse empfängt und es auf das Object reflectirt. **Pritchard** (*Microsc. Illustrations*, Ed. 3, p. 141) hat diese Beleuchtung insofern etwas verändert, dass er zur Seite des Mikroskops einen horizontalen Spiegel anbringt, von dem das Licht auf das kleine Spiegelchen geworfen wird. Aus eigener Erfahrung kann ich nichts über diesen Beleuchtungsapparat sagen; er scheint mir jedoch nichts voraus zu haben vor einer Linse, die auf gewöhnliche Weise zur Seite des Objects steht,

da durch diese der nämliche Zweck erreicht werden kann, jedoch mit geringerem Lichtverluste und mit mehr Bequemlichkeit.

483 In der jüngsten Zeit ist man noch auf andere Mittel bedacht gewesen für jene Fälle, wo die bisher erwähnten Apparate zur Beleuchtung der Objecte mit auffallendem Lichte nicht ausreichen. Ich meine das ringförmige Prisma Riddell's vom Jahre 1853, und besonders die seit 1856 bekannte Methode Wenham's, die Beleuchtung durch totale Reflexion an der Oberfläche des Deckplättchens zu Stande zu bringen. Von beiden Methoden ist aber schon oben (§. 209) die Rede gewesen, und ich habe dort auch bereits einiger Modificationen gedacht, die ich bei Wenham's Methode habe eintreten lassen.

484 Eine dritte Beleuchtungsweise mikroskopischer Objecte, nämlich mit polarisirtem Lichte, ist jüngeren Datums.

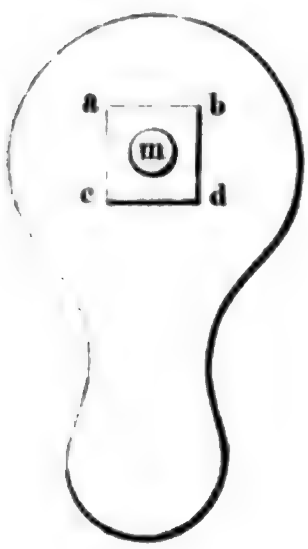
Malus entdeckte 1808 die eigenthümlichen Erscheinungen, die man mit dem Namen der Lichtpolarisation benannt hat, und Brewster (*Edinb. Transactions*, VIII, p. 371. IX, p. 141) untersuchte zuerst, acht Jahre später, mikroskopische Objecte organischen wie anorganischen Ursprungs mit polarisirtem Lichte, und zwar mittelst des Fig. 353 dargestellten Instruments. Er nahm dazu ein einfaches Mikroskop, das nach Art einer Lupe in die Hand genommen wurde, worin sich die Linse *m* befand. Darauf wurde das Turmalinplättchen *a b c d* mit etwas Wachs oder Canadabalsam geklebt. Späterhin (*Treatise*, p. 97) empfahl er übrigens zwei planconvexe Linsen zu nehmen, und das Turmalinplättchen zwischen deren beide platte Oberflächen zu bringen.

Zur Darstellung des polarisirten Lichtes benutzte er einen unter einem Winkel von 35° aufgestellten schwarzen Spiegel, oder ein Bündel Glasplatten, oder ein Kalkspathrhomboëder, welches unten gedeckt ist, so dass nur eine Oeffnung übrig bleibt, gross genug, um die beiden Bilder zu scheiden, die von oben gesehen werden. Das eine Bild wird dann bedeckt, auf das andere aber kommt das Object, welches man unter polarisirtem Lichte beschauen will.

Der erste, der das zusammengesetzte Mikroskop zum polarisirenden Mikroskope einrichtete, war Henry Fox Talbot (*Phil. Magaz.* V, p. 321. IX, p. 288). Er nahm zwei Nicol'sche Prismen: das eine kam als Polarisator unter den Objecttisch, das andere als Analysator über das Ocular. Diese Methode wird auch jetzt noch von vielen befolgt. Die beiden Prismen sind dann, wie in Fig. 354, in Röhren eingeschlossen: eine davon kommt in die Oeffnung des Objecttisches, die zweite aber aufs Ocular. Dadurch wird indessen das Gesichtsfeld sehr klein. Deshalb bringt Chevalier (l. l. p. 75) das oberste Nicol'sche Prisma in die Röhre des Mikroskops und zwar unmittelbar über das Objectiv. Dann muss der Polarisator eine solche Einrichtung haben, dass er umgedreht werden kann. Das ist aber immer beschwerlicher, als wenn das

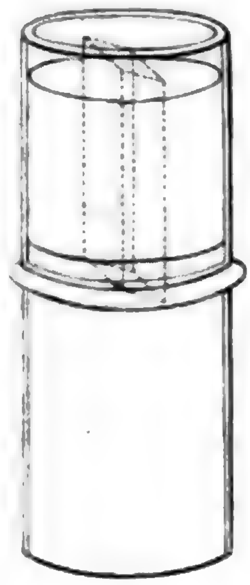
Ocular umgedreht wird, und deshalb habe ich einem Mittelwege den Vorzug gegeben: das analysirende Prisma bringe ich gleich unter das Ocular, so dass jene das Prisma enthaltende Röhre in den untersten Theil des Ocularrohres einfugt. Sind die Prismen ziemlich gross, so wird das Gesichtsfeld dann nur wenig verkleinert. Die meinigen sind von E. Wenckebach verfertigt und haben den ungewöhnlich grossen Durchmesser von 16 Millimeter. Das als Polarisator dienende Prisma ist in eine Messingröhre gefasst, die durch ein rechtwinkelig damit verbundenes Stück in meinen Beleuchtungsapparat (Fig. 343 u. 344, S. 843) bei *P* eingeschoben werden kann, so dass die Axe des Prisma mit jener des ganzen Instruments zusammenfällt. Zur Verstärkung des Lichtes wird dann noch oben auf die Röhre, welche das Prisma enthält, die nämliche Linse geschraubt, deren man sich auch beim gewöhnlichen Beleuchtungsapparate bedient.

Fig. 353.



Brewster's einfaches polarisirendes Mikroskop.

Fig. 354.



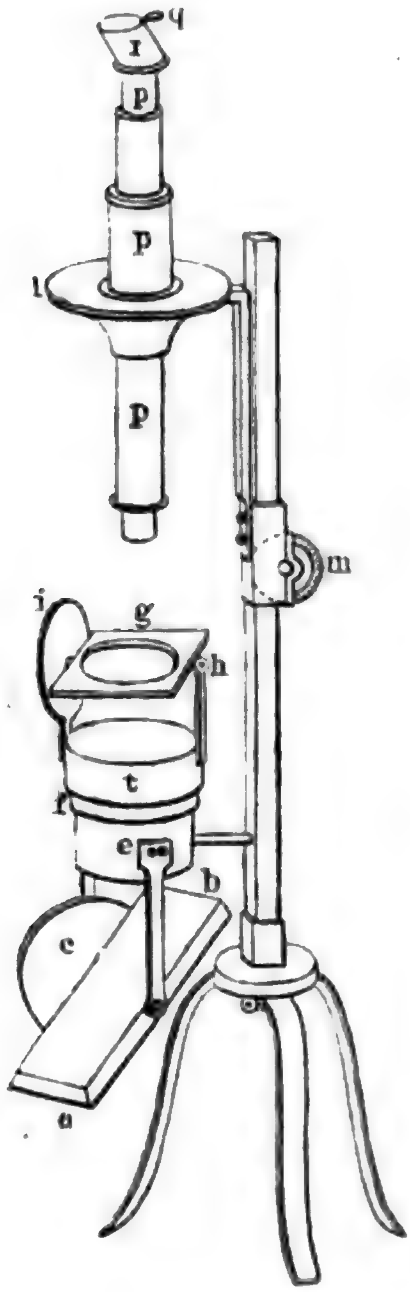
Nicol'sches Prisma, zur mikroskopischen Benutzung hergerichtet.

Bei den meisten Untersuchungen, zu denen man polarisirtes Licht 485
braucht, kann man mit zwei solchen Prismen, die zwischendurch gebraucht und wieder weggenommen werden, vollständig auskommen. Es giebt aber Fälle, wo ein Apparat mit vollständigerer Einrichtung wünschenswerth ist, und hierzu passt der von Amici seit 1830 gebrauchte, der aber erst später (*Annales de Chim. et de Phys.* 1844. XII, p. 114) beschrieben wurde und in Fig. 355 (a. f. S.) dargestellt ist. Acht bis zehn Glastafeln sind in einen Rahmen *a b* gefasst, von dem ein Bündel polarisirtes Licht reflectirt wird. Der Rahmen ist um eine horizontale Axe beweglich und mit einem getheilten Kreise *c* versehen; auf die Oberfläche der Glasplatten aber fällt das Licht des Himmels oder einer Lampe mittelst eines Spiegels, der unter dem entsprechenden Neigungswinkel aufgestellt ist.

An der Trommel *e* ist ein getheilter Kreis angebracht, der sich horizontal dreht; die Eintheilung in Grade dient dazu, das Azimuth der Neigungsfläche zu bestimmen, im Verhältniss zur ursprünglichen Polarisationsebene. An dem Ringe *t* sind zwei Stangen befestigt; darauf ruht der Objecttisch *g*, der sich um eine horizontale Axe *h* bewegt. Ein zur Seite angebrachter Kreis *i* dient dazu, dessen Neigung zu messen, so

wie den Winkel, unter welchem der polarisirte Strahl auf die Unterfläche des Objects trifft. Für den Fall, dass die Einfallsfläche im Verhältniss zum Objecte eine veränderliche wäre, hat der Objecttisch auch noch eine drehende Bewegung um seine eigene Axe.

Fig. 355.



Amici's Polarisationsapparat.

Der Analysator ist ein Kalkspathrhomboëder *r*, welches über dem Mikroskoprohre *p* befindlich ist. Dieses Rohr kann sich um seine Axe drehen, und ein daran befestigter Zeiger giebt an dem Kreise *l* den Winkel an, welcher durch den Hauptschnitt des Rhomboëders mit der ursprünglichen Polarisationsebene gebildet wird. Mittelst des geränderten Knopfes *m* lässt sich das Mikroskop in die nöthige Entfernung vom Objecte bringen, welches auf einer Glastafel auf den Objecttisch gelegt wird. Das Kalkspathrhomboëder steht fest; es befindet sich zwischen dem äussersten Oculare und jenem Punkte, wo sich alle Bündel paralleler Strahlen, die aus dem Mikroskope kommen, durchkreuzen. Beim Durchgange durch den Kalkspath theilen sich die Strahlen und es bilden sich zwei Vereinigungspunkte. Hält man nun das Auge successiv über diese beiden Punkte, so sieht man das Feld erleuchtet, entweder durch die auf gewöhnliche Weise gebrochenen Strahlen, oder durch jene, welche auf ungewöhnliche Weise gebrochen wurden. Zu diesem Ende wird die obere Fläche des Rhomboëders mit einem Metallplättchen bedeckt, woran sich ein kleiner Fortsatz *q* befindet; es dreht sich um einen Stift und besitzt eine Oeffnung, die gross genug ist, um nach Willkür eines der beiden Bilder durchzulassen.

Werden die Beobachtungen Abends angestellt bei einer Kerzen- oder Lampenflamme von geringer Extension, so bringt man in die Trommel *e* eine grosse Linse, damit das ganze Feld beleuchtet wird.

Will man mit kreisförmig polarisirtem Lichte untersuchen, so bringt man das Fresnel'sche Parallelepipedum in die Trommel; es steht auf

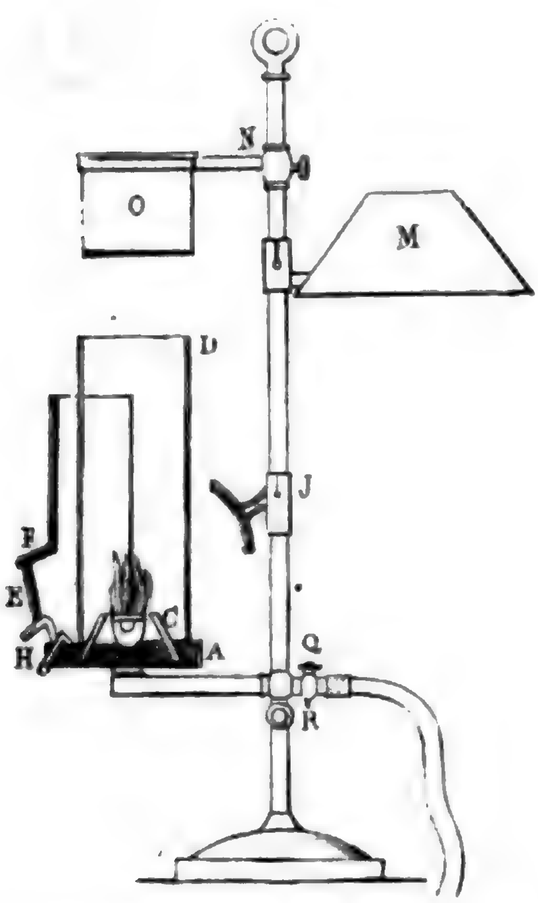
einem Kreise, der horizontal beweglich und an der Peripherie getheilt ist, um das Azimuth der totalen Reflexion im Verhältniss zur Polarisationsfläche zu messen. Das Licht, welches in das Prisma reflectirt wird, nimmt nur das halbe Gesichtsfeld ein; die andere Hälfte des letztern wird durch die Strahlen beleuchtet, die nicht kreisförmig polarisirt sind. Man kann daher die verschiedenen durch's Parallelepipedum erzeugten Strahlen in dem nämlichen Augenblicke wahrnehmen, wo sie gleichsam mit einander in Berührung sind.

Um das Instrument noch brauchbarer zu machen und namentlich auch bei sehr schief einfallenden Strahlen damit beobachten zu können, hat Amici noch ein zweites stärkeres Objectiv zugefügt. Dasselbe sitzt am Ende eines Rohres, welches über das erste Rohr *p* hinaufgeschoben werden kann. Dadurch ist das Mikroskop zugleich auch ein pankratisches geworden.

Um endlich das durch die Glasplatten *ab* reflectirte Licht stark convergirend zu machen, bringt man in die Oeffnung des Objecttisches ein kurzes Rohr mit einem Systeme von Concavlinsen, und auf die oberste von diesen wird das Object gelegt.

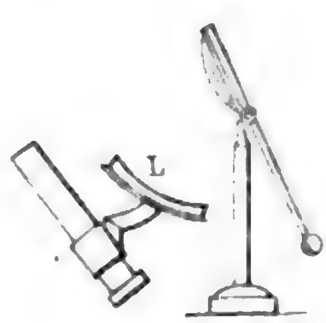
Da die Benutzung des Gases im Innern der Häuser immer mehr 486
zunimmt, so mag hier auch die Gaslampe näher beschrieben werden, welche Highley (*Quart. Journ.* 1853, Januar, p. 142) zur Verwendung beim Mikroskope eingerichtet hat, wie es in Fig. 356 dargestellt ist.

Fig. 356.



Highley's mikroskopische Gaslampe.

An einer auf einem Fussstücke stehenden bronzenen oder messingenen Stange bewegt sich ein Arm auf und nieder mit dem Ringe *A*, der von unten mit einem Drahtgitter bedeckt ist, um eine ruhige, nicht flackernde Flamme zu bekommen. Innen auf dem Ringe befindet sich ein Metallkegel *C*, dessen oberer ab-



gestutzter Rand die Basis der Flamme erreicht und dort eine Oeffnung von $^1/_8$ Zoll Durchmesser hat. So bekommt man eine blendende cylindrische Flamme. Das Gas wird durch eine Kautschukröhre aus der Gasleitung zugeführt und sein Austritt wird durch den Hahn *Q* regulirt.

Um das Licht durch Entziehung der gelben Strahlen weisser zu machen, ist die Flamme mit dem Schornsteine *D* aus lichtblauem Glase umgeben. Hierdurch wird die Farbe der Flamme schon bis zu einem gewissen Grade verbessert, noch mehr aber durch eine bläulich grau gefärbte Glasscheibe *E*, die in eine kurze geneigt gestellte Röhre gefasst ist. Diese Röhre ist dann mit dem halbcylindrischen Schirme *F* verbunden, der sich mittelst des Elfenbeinknopfes *H* um den Ring *A* herumdrehen kann, so dass der Schirm sich auch nach der andern Seite bringen lässt, wenn man das volle Licht der Flamme haben will.

Parallel der Glasscheibe *E* steht der concave Metallspiegel *J*, der an der Stange befestigt ist. Das auf diese Weise concentrirte Licht lässt sich nöthigenfalls durch eine Linse noch mehr concentriren.

Die nämliche Lampe kann auch als gewöhnliche Studirlampe benutzt werden, wenn man den Schirm *F* wegnimmt und denselben durch die Kappe *M* ersetzt. Auch für chemische Zwecke ist sie verwendbar; in den Ring *N* kann nämlich ein Wasserbehälter *O* eingelassen werden.

Die Nachtheile, welche die Beleuchtung mikroskopischer Gegenstände durch künstliches Licht mit sich führt, scheinen mir bei diesem Apparate auf eine recht gute Weise beseitigt zu sein, ohne dass etwas von den Vorzügen dieser Beleuchtungsweise verloren geht. Es bedarf aber wohl keiner nähern Auseinandersetzung, dass diese ganze Einrichtung mit einer geringen Modification auch bei einer Oellampe sich anbringen lässt.

Zweites Kapitel.

Apparate und Hülfsmittel zum Tragen und Festhalten der Objecte.

Ein grosser Theil des *Armamentarium microscopicum* besteht aus den kleinen Instrumenten, welche hierher gehören. Sehr gross ist die Zahl der Instrumente, die seit dem Beginne der mikroskopischen Untersuchungen erfunden, dann auch wieder verändert und oftmals verbessert worden sind; sie zeugen ebenso für die Fähigkeit der Erfinder, als für das immer neu auftretende Bedürfniss, passende Mittel ausfindig zu machen, um die Objecte in einen Zustand zu versetzen, dass ihre mikroskopische Beobachtung leicht ist. 487

Die ältesten Beobachter benutzten nach Huygens (*Mem. de l'Acad. de Paris* 1678. XI, p. 608) vielfältig Glimmerblättchen: die Objecte wurden mit etwas Wachs oder Terpentin darauf geklebt, oder man brachte dieselben auch wohl zwischen zwei Glimmerblättchen. Schon am Ende des 17. Jahrhunderts waren die mit Oeffnungen versehenen hölzernen oder beinernen Schieber in Gebrauch, worin die Objecte zwischen Glimmerblättchen stecken, die mittelst eines kleinen Messingringes zusammengedrückt werden. Bei Bonannus (*Micrographia curiosa*, p. 27) findet man sie ganz so abgebildet (Fig. 273, S. 668), wie sie bis vor einigen Jahren noch allgemein in Gebrauch waren; nur wurden die Glimmerblättchen späterhin meistens durch concave Glasplättchen ersetzt. Hartzoeker (*Essay de Dioptrique* 1694, p. 176) benutzte bei seinem früher beschriebenen einfachen Mikroskope einen kleinen Messingrahmen, wie er Fig. 357 dargestellt ist. Derselbe bestand aus zwei durch ein Charnier vereinigte Hälften, auf deren länglich vierseitige Oeffnungen Glimmerstreifen aufgeklebt waren.

Man ersann auch bald andere kleine Instrumente, die zum Festhalten der Objecte bestimmt waren. Schon bei Cuno's Mikroskope (Fig. 220, S. 605), und noch mehr bei jenem von Johannes Musschenbroek (Fig. 222, S. 606) kommen sie in Menge vor, nämlich Schieberzängelchen

zum Fassen der Objecte, spitzig zulaufende Nadeln, kleine Gabeln und gabelartige Instrumente mit stumpfen Spitzen. Namentlich zeugen aber die in Fig. 222 bei *E*, *G*, *H* mit abgebildeten Instrumente für Musschenbroek's Erfindungsgabe. *H* ist zum Festhalten von Objectschiebern oder Glastafeln bestimmt; durch *G* soll ein Glasröhrchen *ef* festgehalten werden, dergleichen schon Leeuwenhoek zur Untersuchung von Flüssigkeiten benutzt hatte; *E* endlich ist ein kleines Büchschen oder Gläschen aus einem concaven und einem flachen Glase, um lebende Thierchen einzuschliessen, also die einfachste Form der Wasserinsectenbüchse (*animal life box*). Später finden wir die letztere, jedoch ohne Stiel, wiederum beim zusammengesetzten Mikroskope von Culpeper und Scarlet, und erst in neuerer Zeit sind daran mehrere Verbesserungen vorgenommen worden.

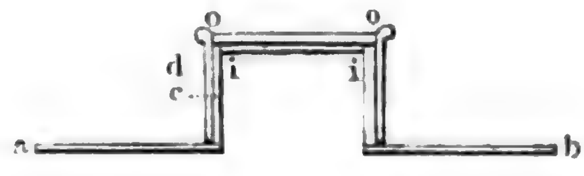
Nach Lister's Rath gab Tulley diesem Thierbüchschen die Form, welche Fig. 358 im Durchschnitte dargestellt ist. Die kleine Messing-

Fig. 357.



Hartzoeker's Rahmen für Glimmerblättchen.

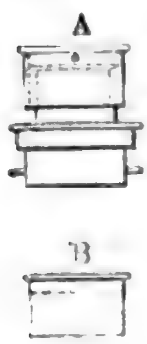
Fig. 358.



Tulley's Thierbüchse.

platte *ab* hat ziemlich gleiche Grösse wie die gewöhnlichen gläsernen Objecttäfelchen; in der Mitte hat sie eine Oeffnung, und über dieser steht ein kurzes Röhrchen, welches durch eine runde flache Glasscheibe *ii* geschlossen wird. Auf dieses Röhrchen passt, gleich wie ein Deckel, ein zweites, das ebenfalls durch ein flaches Glasplättchen *oo* geschlossen ist.

Fig. 359.



Goring's Thierbüchse.

Daran brachte Goring (*Microscop. Illust.* Ed. 1, p. 57) eine kleine, aber nicht unerhebliche Verbesserung an, welche Fig. 359 dargestellt ist. Die beiden Glastäfelchen fügte er nämlich wasserdicht in ihre Höhlungen, und am äussern Büchschen brachte er nahe dem Rande eine feine Oeffnung an. So kann das Thierbüchschen auch für Wasserthiere benutzt werden, und die kleine Oeffnung dient zum Herauslassen der Luft. Für in der Luft lebende Thiere fügte er noch ein zweites Deckelchen *B* hinzu, welches wie das erstere gestaltet ist, aber mehrfache kleine Oeffnungen besitzt.

Varley (*Transact. of the Soc. of Arts.* XLVIII) hat 1831 mit diesen kleinen Instrumenten noch eine Veränderung vorgenommen, wodurch sie zur Untersuchung von Thieren, die im Wasser leben, weit geeigneter ge-

worden sind, so dass ihm hierin jetzt alle englischen Mikroskopverfertiger nachfolgen. Diese Varley'sche Thierbüchse ist Fig. 360 dargestellt. Auf der flachen Messingplatte *ab* steht ein kurzes Röhrchen, auf dem das Objecttäfelchen *c* liegt, aber nicht unmittelbar auf dessen äussern Rande, sondern auf einem nach innen vorspringenden Ringe *d*. Somit bleibt oben eine ringförmige Rinne *i* übrig. Das Deckelchen *f* mit der dünnen Glastafel *e* schiebt sich über das innerste Rohr, wie bei den früheren Thier-

Fig. 360.

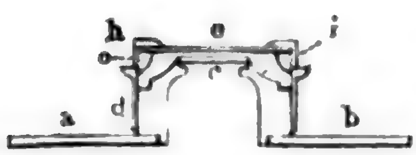


Varley's Thierbüchse in der Seitenansicht. — Durchschnitt derselben.

büchsen. Der Unterschied von diesen besteht nur darin, dass die kleine Glasscheibe *c*, die als Objecttafel dient, mit der kleinen Röhre nicht in Berührung kommt. Ein darauf gebrachter Wassertropfen verbleibt deshalb nur durch Capillarität zwischen den beiden Glastäfelchen, und das Deckelchen lässt sich ganz herumdrehen, ohne dass die Flüssigkeit abfliesst.

Späterhin hat Powell daran noch eine Verbesserung angebracht, die in Fig. 361 im Durchschnitte dargestellt ist. Das Deckplättchen kann hier gewechselt werden. Das als Deckel dienende Röhrchen besteht nämlich aus zwei Stücken. Der unterste Theil *d* hat oben einen Rand mit dem Schraubengange *o*; darauf kommt das runde Deckplättchen *e*, welches durch Aufschrauben des Ringes *h* befestigt wird. Auch hier bezeichnet *c* das Objecttäfelchen und *i* die ringförmige Rinne.

Fig. 361.



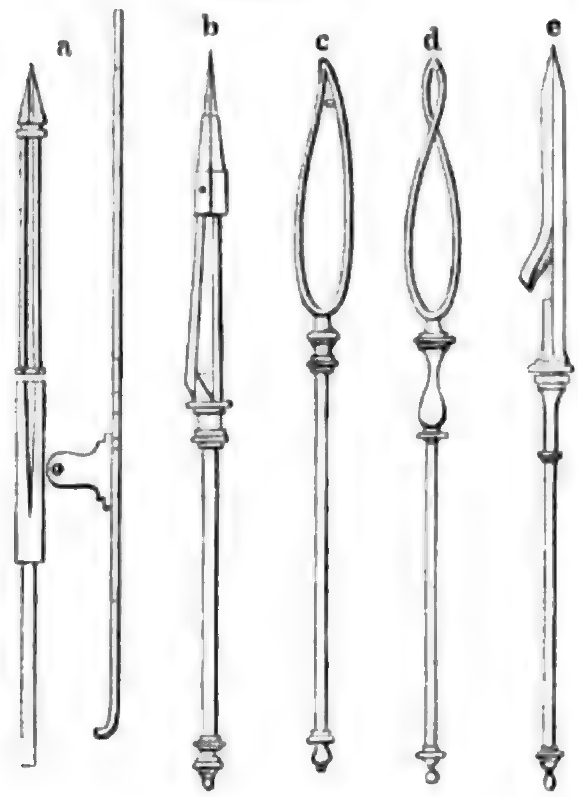
Powell's Thierbüchse.

Die Schieberzängelchen von Cuno und von Musschenbroek 488
wurden schon vorhin genannt. Im Jahre 1702 fügte Wilson einem seiner einfachen Mikroskope (Fig. 226, S. 614) ein Zängelchen bei, das bis auf unsere Zeit in Gebrauch geblieben ist. Es besteht aus zwei federnden Blättern *k*, die durch einen Druck auf zwei mit Knöpfchen versehene Stifte von einander weichen, um ein Object zum Festhalten dazwischen zu bringen.

Joblot hat hierzu ebenfalls verschiedene kleine Zangen erfunden, die in Fig. 362 auf folgender Seite dargestellt sind. Ihre Anwendung ergiebt sich von selbst. Sie sind aber nicht in allgemeineren Gebrauch

gekommen. Sie sowohl wie die kleine Wilson'sche Zange befanden sich an dem einen Ende einer Stahlstange, die in einer Messinghülse sich verschob. Wilson brachte an das andere Ende dieser Stange noch eine Elfenbeinscheibe, die auf der einen Seite weiss, auf der andern schwarz war, um verschiedenfarbige Objecte darauf zu legen.

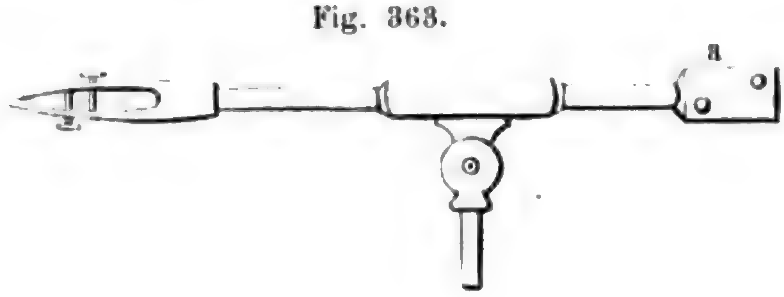
Fig. 362.



Kleine Zangen von Joblot.

Dergleichen Zängelchen kommen noch bei vielen unserer gegenwärtigen Mikroskope vor. Bei andern ist das Scheibchen weggelassen, oder es wird wohl auch, wie in Fig. 363, durch ein vierseitiges messingenes Kästchen *a* ersetzt, welches mit Kork angefüllt ist, um mittelst einer Nadel Korkscheibchen oder Pappscheibchen mit den darauf befestigten Objecten daran anheften zu können.

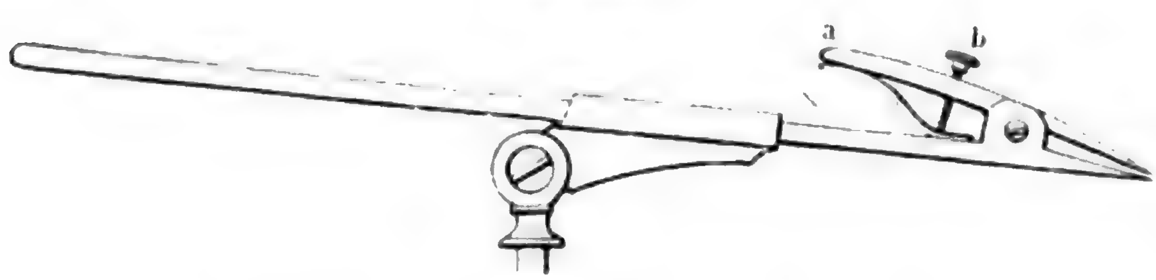
Fig. 363.



Kleine federnde Zange bei einem englischen Mikroskope.

Recht gut geformt ist auch die kleine in Fig. 364 abgebildete Zange, welche Oberhäusser nach Strauss-Durckheim (*Traité pratique* I,

Fig. 364.

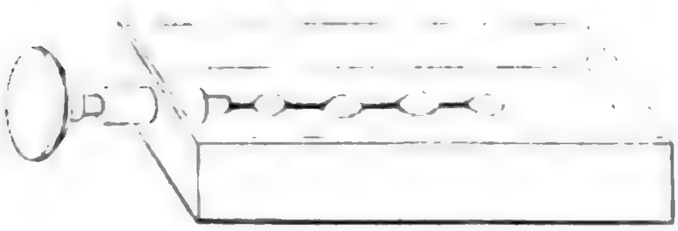


Microphore à bascule von Strauss-Durckheim.

p. 136) verfertigt hat und die als *Microphore à bascule* bezeichnet wurde. Durch einen Druck auf das hintere Ende *a* des oberen Zangenblattes öffnet sich die Zange, wenn vorher die Schraube *b* abgenommen wurde.

Hierher kann auch der kleine Apparat von **Laurent** gebracht werden, der in Fig. 365 dargestellt ist. Er ist namentlich dazu bestimmt, die Entwickelung der Mollusken-eier damit zu untersuchen; mit ein paar Veränderungen ist er aber auch für andere ähnliche Zwecke zu verwenden. Es ist nämlich ein kleiner vierseitiger Messingtrog mit einem Glasboden. Die eine Wand hat eine Oeffnung, in der sich ein kleiner Messingcylinder drehen kann. Dieser ist vorn durchbohrt, um einen doppelten Messingdraht aufzunehmen, der solchergestalt gewunden ist, dass in Zwischenräumen Oeffnungen übrig bleiben für die Eier, deren Entwickelung auf verschiedenen Punkten sich verfolgen lässt, wenn man den Messingdraht in dem mit Wasser gefüllten kleinen Troge umdreht.

Fig. 365.

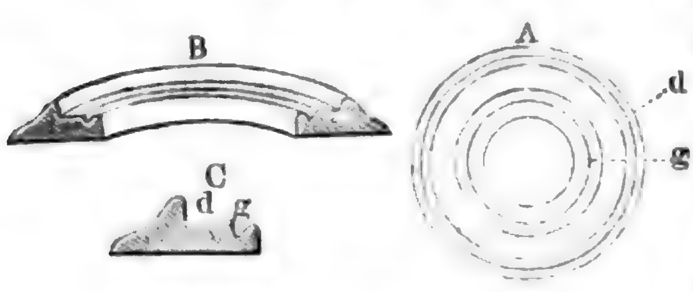


Laurent's kleiner Trog.

Viele Objecte müssen während der Untersuchung durch ein Deckplättchen gegen Druck geschützt werden, oder sie müssen in eine Höhlung kommen, wenn sie in der einen oder der andern Flüssigkeit aufgehoben werden sollen. Ehedem benutzte man dazu runde oder länglich vierseitige Glastäfelchen, worein eine oder auch mehrere muldenförmige Höhlen geschliffen waren. Mit Recht nimmt man jetzt lieber kleine Tröge, die ein flaches Glastäfelchen zum Boden haben. Wie ich dergleichen aus Kautschuk, aus Guttapercha oder aus Glasstreifen verfertige, ist S. 372 u. flg. umständlich besprochen worden. Ich habe hier nur noch einiger Methoden zu gedenken, die von andern empfohlen wurden. 489

Namentlich in England hat man sich in der letzten Zeit viel Mühe gegeben, solche kleine Tröge (in England nennt man sie **Zellen**) auf eine zweckmässige Weise herzurichten, und man bekommt sie in den verschiedensten Formen bei den Mikroskopverfertigern. Die Bereitungsweisen sind: 1. In ein flaches Glastäfelchen wird eine Oeffnung gebohrt; das beste Verfahren, um ganz seichte Tröge zu bekommen, weil man dazu selbst das dünne Glas für Deckplättchen anwenden kann. 2. Von runden, vierseitigen oder elliptischen Glasröhren werden Ringe abgeschnitten. 3. Derartige Ringe werden gegossen. Wenn die Aufbewahrung mikroskopischer Präparate eine immer mehr verbreitete wird, so steht zu erwarten, dass solche gegossene Ringe bald überall um weniges Geld zu haben sein werden. Eine von **Darker** angegebene Form der Ringe, wie in Fig. 366, ist in vielen Fällen ganz passend. Bei *A* sieht man

Fig. 366.



Kleiner Glastrog von Darker.

den Glasring von oben, bei *B* sieht man ihn im Durchschnitte, und *C* zeigt den Durchschnitt des Randes allein. Der gerade Abschnitt *d* am Rande ist zum Auflegen des Deckplättchens bestimmt, und die Rinne *g* verhindert, dass der überflüssige Kitt nach dem Präparate hin geht.

Um solche Ringe auf Glastäfelchen zu befestigen, benutzt man jetzt in England zumeist den von Jeffery erfundenen und zu verschiedenen technischen Zwecken im Grossen bereiteten sogenannten Seeleim (*marine glue*), eine Mischung von Schellack, Kautschuk und Kohlentheer. Er kommt in mehreren Sorten im Handel vor; zum mikroskopischen Gebrauche eignet sich aber nach Quekett jene am besten, welche das Zeichen G K 4 hat. Um Glasringe damit zu befestigen, wird der Seeleim in dünnen Streifen auf das Glas gelegt und bis zum Sieden darauf erwärmt. Nach Quekett kann man dazu ein kleines Tischchen von Eisenblech nehmen, welches auf 4 Füsschen steht und worunter eine Alkohollampe kommt. (Uebrigens hat sich später Goadby (*Americ. Journ.* 1852, p. 15) für den Erfinder dieses Tischchens ausgegeben.) Auf den geschmolzenen Seeleim legt man nun den Ring und drückt ihn mit einem flachen Holzstückchen an. Nachdem die Glastafel mit dem Ringe weggenommen und etwas abgekühlt ist, kratzt man den überflüssigen Seeleim mit einem kleinen Meissel ab. Soll der kleine Trog ganz vollkommen ausfallen, so giesst man eine schwache Kalisolution oder etwas Weingeist hinein, kratzt die letzten Reste des Seeleims mit einem keilförmig zugeschnittenen Holzstückchen ab und spült dieselben zuletzt mit Wasser weg.

Ich will hier nur noch bemerken, dass Th. Shearnan Ralph (*Quart. Journ.* 1858. XXII, *Transact.* p. 34) neuerdings auf die Eigenschaft des Terpentinöls hingewiesen hat, beim Durchbohren von Glas dem Entstehen von Sprüngen in demselben hinderlich zu sein. Um runde Löcher in Glastafeln zu machen, benutzt er zunächst eine fünfkantige scharfe stählerne Pfrieme, und ist damit erst ein kleines Loch gemacht, so erweitert er dieses durch eine runde Feile, wobei er aber immer das Glas sowohl als die Instrumente mit Terpentinöl benetzt. Noch besser soll aber folgendes Verfahren sein, welches ihm von einem Freunde mitgetheilt wurde. Dieser nimmt eine Messingplatte mit Oeffnungen von den verschiedenen Grössen, wie man sie im Glase haben will. Auf diese Platte wird das Glas mit Siegellack oder Wachs festgeklebt und an der Innenseite der Oeffnungen macht man nun mit dem Diamanten einen Strich. Dieser hindert die Ausbreitung der beim Bohren entstehenden Sprünge; man darf daher kräftig und rasch auf die oben genannte Weise bohren, ohne Gefahr zu laufen, dass der Rand des beabsichtigten kleinen Glastrogs verletzt wird.

490 Mehrfach sind Apparate erfunden worden, mittelst deren man den Blutumlauf bei den Thieren beobachten kann.

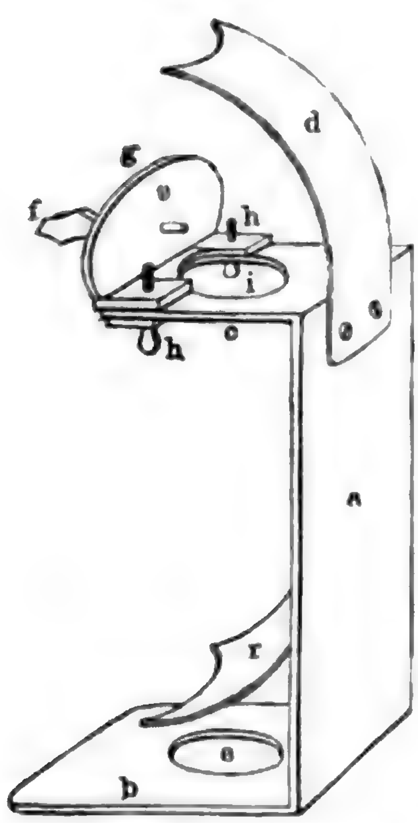
Die erste hierzu bestimmte Vorrichtung findet man bei Leeuwen-

hoek (*Sendbrieven*; 66*ste Missive van* 12 *January* 1689) beschrieben, und in Fig. 367 dargestellt. Eine silberne oder messingene Platte *a* ist an beiden Enden rechtwinkelig umgebogen und diese umgebogenen Theile *b* und *c* haben bei *e* und *i* runde Löcher; durch diese wird eine Glasröhre gesteckt und mittelst der Federn *r* und *d* festgehalten. In der Glasröhre nun befindet sich Wasser und ein kleines Fischchen, dessen Flossen oder dessen Schwanz so gestellt sind, dass man den Blutumlauf darin wahrnehmen kann. Die Linse, die wie bei allen Leeuwenhoek'schen Mikroskopen zwischen zwei Platten eingeschlossen war, kam dann vor die gläserne Röhre, indem sie an die aufrechtstehende Platte *g*, welche durch die beiden Schrauben *h h* am Theile *c* befestigt ist, mittelst *f* angeschraubt wurde. Leeuwenhoek hat dergleichen Apparate mehrfach verfertigt; im Kataloge seiner Mikroskope (S. 603) werden acht silberne und vier messingene aufgezählt.

Bei dem Mikroskope von Marshall (Fig. 275, S. 671) kam das Fischchen auf den gläsernen Objecttisch *d* und der Körper, jedoch mit Ausschluss des Schwanzes, wurde mit einer umgebogenen bleiernen Platte bedeckt, um das Thier am Wegspringen zu hindern und um seine Bewegungen zu mässigen.

Die Form dieser bleiernen Platte gab wahrscheinlich Veranlassung zu der messingenen Fischpfanne, welche Fig. 368 abgebildet ist, wie sie etwas später Culpeper und Scarlet ihrem Mikroskope beigaben, und die sich lange Zeit in Gebrauch erhalten hat. Es ist eine rinnenförmig gebogene längliche Messingplatte, an dem einen Ende etwas schmaler als am andern, mit einer Oeffnung bei *a*, durch welche der Schwanz des kleinen Thieres kommt. Der Körper des Fischchens und die Platte zusammen werden ein paar Male mit einem breiten Bande umwickelt, um das Thierchen zur Ruhe zu nöthigen.

Fig. 367.



Leeuwenhoek's Apparat zur Beobachtung des Kreislaufs.

Fig. 368.



Fischpfanne von Culpeper und Scarlet.

Um den Blutumlauf in der Schwimmhaut des Frosches zu beobachten, benutzte Alexander Stuart in London, wie Baker meldet, 1744 einen Rahmen, an dem das Thier mit Bändern und Nadeln befestigt wurde. Doch war die Einrichtung im Ganzen zur Beobachtung mit dem Sonnenmikroskope bestimmt.

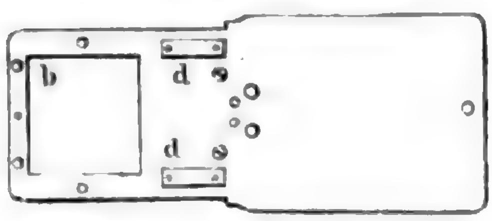
Hendrik Hen gab zu seinen Mikroskopen für diesen Zweck einen

länglich viereckigen Rahmen aus Messingblech, mit zwei breiten Querstreifen und mehreren kleinen Löchern am Rande, um daran die Bänder und Fäden zu befestigen, wodurch das Thier ausgestreckt wurde.

Diesem ganz ähnlich, nur aus Holz verfertigt, ist der Apparat zur Beobachtung der Circulation des Frosches, den R. Wagner gebraucht, dessen Beschreibung J. Vogel (Anleitung zum Gebrauche des Mikroskops. Leipzig 1841, S. 69) giebt.

Powell und Ross geben jetzt zu ihren Mikroskopen eine Froschplatte, die in Fig. 369 dargestellt ist. Sie ist aus Messing, etwa 15 Centimeter lang und 6 Centimeter breit. An dem einen Ende befindet sich die Oeffnung *b*, welche durch eine Glasplatte geschlossen ist, und auf diese kommt der Fuss des Frosches. Um diese Oeffnung herum befinden sich vier oder noch mehr kleine Knöpfe, um welche die Fäden geschlungen werden, womit man die Zehen ausbreitet. Den ganzen Frosch, mit Ausnahme der einen Hinterpfote, steckt man in ein kleines leinenes Säckchen, das mit einem Bande zugehalten wird, und die Enden dieses Bandes führt man unter den etwas überragenden Streifen *dd* hindurch und knüpft sie zuletzt zusammen.

Fig. 369.

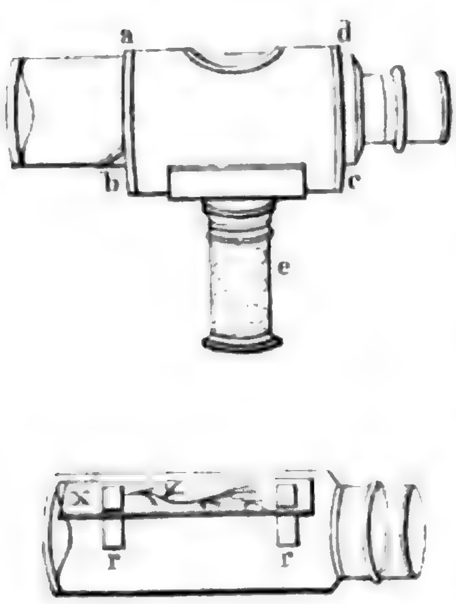


Froschplatte von Ross.

Doch sind schon oben (S. 402 u. flg.) die nöthigen Anweisungen gegeben worden, wie man durch Glas- und Korktafeln, einige Nadeln u. dgl. alle diese Apparate entbehrlich machen kann.

491 Für die Beobachtung der Saftbewegung in den Zellen der Chara- und Nitellaarten ist Varley's Flaschen- oder Röhrenhalter bestimmt, den man in Fig. 370 abgebildet sieht. Eine kurze Röhre *a b c d* von etwa drei Centimeter Dicke und fünf Centimeter Länge ist innen ganz mit schwarzem Tuche überzogen, zwei einander gegenüber liegende Oeffnungen ausgenommen. Unter der untern Oeffnung befindet sich eine engere Röhre *e* mit einer Spiralfeder, die unten festsitzt und oben gegen eine gebogene kleine Platte drückt. In das cylindrische, mit einer weiten Oeffnung versehene und mit Wasser gefüllte Fläschchen kommt dann ein jüngerer Theil der Pflanze, und mit Hülfe eines Glasstreifens *x* und der beiden Korkstückchen *rr* wird derselbe in die Nähe der Wandung gebracht. Ist nun das Fläschchen zugekorkt, so wird es in die Röhre *abcd* geschoben, in die es gerade passt,

Fig. 370.



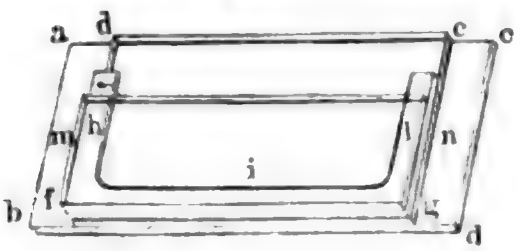
Varley's Flaschenhalter.

und durch die Spiralfeder festgehalten, doch so, dass man es noch bequem herumdrehen und verschieben kann.

Dieser kleine Apparat kann wirklich gute Dienste leisten, wenn man Untersuchungen über die Säftebewegung in den Zellen von Wasserpflanzen und über deren Entwickelung mehrere Tage lang fortsetzen will. Nur ist damit der Nachtheil verbunden, dass man durch eine gekrümmte Glasoberfläche und aus diesem Grunde weniger scharf sieht. Zudem ist er nur bei schwachen Vergrösserungen anzuwenden, weil das Objectiv dem Objecte nicht ganz nahe gebracht werden kann.

Im Allgemeinen verdient daher eine andere, ebenfalls von Varley herrührende Einrichtung, die in Fig. 371 dargestellt ist, den Vorzug; nur hat diese wiederum den Nachtheil, dass sie blos bei horizontaler Stellung des Mikroskops anwendbar ist. Auf eine ziemlich dicke Glasplatte *defg* werden durch ein Gemenge von Pech und Wachs die drei Glasstreifen *h*, *i* und *l* befestigt, und darauf kommt die aus dünnem Glase bestehende Deckplatte *mn*, welche kleiner ist als die Platte *defg*. Zum bequemeren Gebrauche kann man letztere noch mit Canadabalsam auf die längere Glasplatte *abcd* aufkleben. So hat man einen engen Glastrog, wohinein man Wasser nebst den zu untersuchenden Objecten, wie Charen und andere Wasserpflanzen, Polypen, Larven von Wasserinsecten u. s. w. bringen kann *).

Fig. 371.



Varley's senkrechter schmaler Trog.

Smith und Beck haben an diesem Varley'schen Troge noch eine kleine aber zweckmässige Veränderung angebracht, die in Fig. 372 im Durchschnitte dargestellt ist. Sie bringen nämlich in der Richtung der Diagonale ein Glastäfelchen *ab* hinein. Das hat zur Folge, dass die Objecte, welche schwerer als Wasser sind, nach unten sinken zwischen dem diagonalen Täfelchen und dem Deckplättchen und so von selbst der Oberfläche des letztern sich nähern. Ausserdem ist dieses Glastäfelchen beweglich, so dass man die vorher eingebrachten Dinge damit nach vorn schieben und befestigen kann, indem man kleine Korkstückchen zwischen den Boden des kleinen Trogs und die innerste Glasplatte bringt.

Fig. 372.



Varley's Trog mit diagonalem Septum.

*) Um Wasser in einen so engen Raum zu bringen, nehme ich einen ganz dünnen und schmalen Glasstreifen, der aber so lang sein muss, dass er, auf dem Boden des zu erfüllenden Raumes stehend, noch zwei bis drei Centimeter herausragt. Giesst man vorsichtig auf dieses herausragende Ende die Flüssigkeit, so läuft sie an dem Glasstreifen zum Boden der Höhlung herab und verdrängt die allmälig nach oben entweichende Luft. So lassen sich ohne sonderliche Mühe Räume füllen, die nur drei oder zwei Millimeter, oder selbst nicht einmal so weit sind.

492 Bei keiner Abtheilung mikroskopischer Hülfswerkzeuge hat sich die Erfindungsgabe der Beobachter sowohl als der Optiker mehr geltend gemacht, als bei jenen, welche dazu bestimmt sind, einen gleichmässigen Druck auf die Objecte auszuüben und diesen nach Willkür zu mässigen oder zu verstärken. Die Zahl dieser sogenannten Compressorien ist aber so gross, dass ich mich auf eine ausführliche Beschreibung aller nicht einlassen kann, zumal dieselben in fast allen Fällen durch das oben (S. 398) beschriebene einfache Verfahren entbehrlich werden.

Da ich aber in der historischen Uebersicht auch solcher Instrumente gedenken muss, deren Nutzen manchen zweifelhaft erscheinen mag, so will ich wenigstens die verschiedenen Druckwerkzeuge anführen, die seit dem Ende des vorigen Jahrhunderts und grösstentheils auch noch jetzt in Gebrauch sind, die umständlichere Beschreibung und Abbildung für jene versparend, welche aus dem einen oder andern Grunde solche Bevorzugung zu verdienen scheinen.

Die Bemerkung, dass manche thierische Theile, wie Fett, Gehirnsubstanz u. s. w. erst dann deutlich werden, wenn man sie zwischen zwei Glastäfelchen etwas comprimirt, findet sich schon bei Robert Hooke, ist also fast so alt als das Mikroskop selbst. Späterhin pflegte man auch meistens in solchen Fällen einen leichten Druck auszuüben, entweder durch die Schwere des Deckplättchens oder mit der Hand.

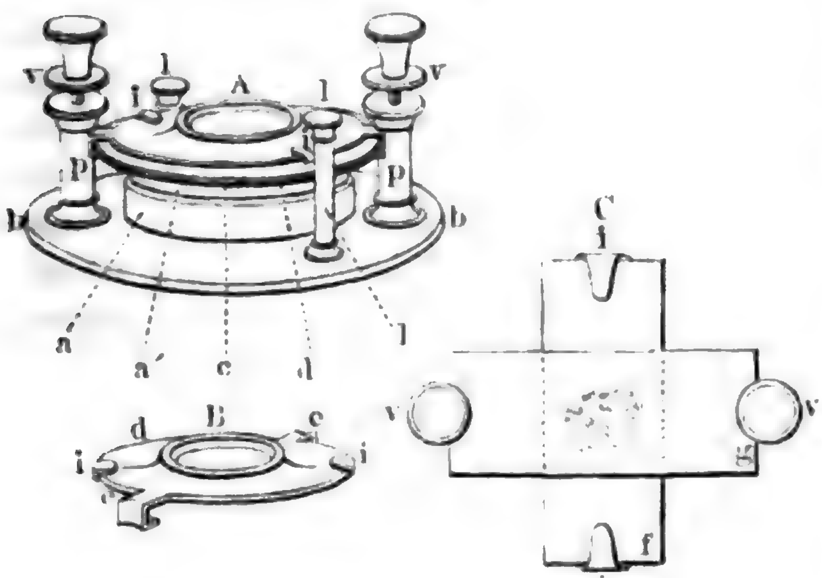
Als der erste, der auf eine mechanische Aushülfe bedacht war, ist Goeze (Versuch einer Naturgeschichte der Eingeweidewürmer. 1782) zu nennen, der zwei Compressorien beschrieb. Das erste war ganz einfach und bestand aus zwei Glasplättchen, von denen das eine am Boden einer Holzkapsel sich befand, in welche dann das andere mehr oder weniger tief gesenkt wurde. Das zweite Compressorium war zusammengesetzter und von Messing: die bewegliche Glasplatte wurde hier mittelst einer Schraube gegen die feststehende bewegt, und beide Platten wurden durch eine Feder auseinander gehalten.

Im Jahre 1831 beschrieb Ehrenberg (Abh. d. Berl. Akad. 1831, S. 46, u. Die Infusionsthiere, Vorrede S. XVII) ein Instrument für den nämlichen Zweck. Nach seiner Anweisung verfertigte Schiek ein Compressorium aus zwei geschliffenen Glasplatten, die dergestalt in zwei mit Schraubenwindungen versehene Ringe gefasst sind, dass sie durchs Umdrehen der Schraube einander immer mehr genähert werden. Die Umdrehung des obern Glasplättchens wird dabei dadurch verhindert, dass sich am Rande zwei Einkerbungen finden, in welche zwei kleine Stifte passen, die am untersten Ringe festsitzen.

Viel zusammengesetzter, wenngleich auf dem nämlichen Principe beruhend, ist das Compressorium, welches Purkinje 1834 in Müller's Archiv, S. 385, beschrieb, und das er schon seit 8 Jahren benutzte. An demselben wurden weiterhin durch Purkinje selbst und durch Valentin (Repertorium Bd. III, S. 31) noch einige Verbesserungen angebracht. Jenes, welches 1841 von Savi (*Atti del Congresso scientifico di Firenze.*

1841, p. 341) beschrieben wurde, ist nur eine Modification dieses Compressoriums, und dasselbe gilt von demjenigen, welches Pacini (*Nuovi Annali delle Sc. naturali di Bologna.* Nov. 1845) beschrieb. Indessen hat doch Pacini's Instrument vor dem ursprünglichen Purkinje'schen manche Vorzüge, da es namentlich einen leichteren Wechsel der Glastäfelchen und ausserdem während der Untersuchung selbst den Zutritt von Reagentien gestattet, und deshalb gebe ich in Fig. 373 eine Abbildung desselben. Es besteht aus zwei über einander zu schraubenden Ringen. Der äussere Ring *a'* ist auf eine mit einer grossen Oeffnung versehene Scheibe *b b* geschraubt, welche dem ganzen Instrumente zur Basis dient. Der innere Ring *a'* ist mit einer zweiten, ebenfalls durchbohrten, aber kleinern Scheibe *c* verbunden, durch deren Umdrehung der innerste Ring mittelst der eingeschnittenen Schraube sich hebt und senkt. Auf der Scheibe *c* liegt noch eine Platte *d*, gleichfalls durchbohrt, die gar keine drehende Bewegung hat, sondern sich nur mit hebt und senkt, wenn die Schraube um den Ring geht. Zu dem Ende hat die Platte *d*, wie man bei *B* sieht, zwei Vorsprünge *e* und *e*, die an den beiden Säulen *p* sich auf- und niederbewegen. Zwei kleine hakenförmig umgebogene Streifen *i i*, die man bei *A*, *B* und *C* sieht, sind dazu bestimmt, eine der beiden Glastafeln, und zwar die untere, festzuhalten, nämlich *f* bei *C*.

Fig. 373.



Pacini's Compressorium.

Die obere Glastafel, nämlich *g* bei *C*, ist unbeweglich; sie wird durch die beiden Säulchen getragen, auf deren Oberfläche sie ruht, und ist durch die beiden Klemmschrauben *v* und *v* (bei *A* und *C*) daran befestigt. Dreht man den Rand des Ringes *c* in der einen oder der andern Richtung, so steigt oder sinkt die untere Glastafel und nähert sich langsam der obern oder entfernt sich von derselben.

Die beiden Glastafeln haben die gewöhnliche länglich vierseitige Gestalt der Objecttafeln, und da sie gekreuzt über einander liegen, so kann man leicht durch capillare Aufsaugung etwas Flüssigkeit zwischen sie bringen.

Ausser den beiden grösseren Säulen, die für die Scheibe *d* bestimmt sind, finden sich in gleicher Entfernung von diesen noch zwei kleinere Säulen *l* und *l*. Diese sollen nur als Stützpunkte dienen, wenn man

mit einer Nadel oder sonst einem Instrumente etwas an dem Objecte ändern will. Sie können aber auch zur Befestigung eines lebenden Thieres benutzt werden, oder sie können die Träger der isolirten Polenden einer galvanischen Batterie sein.

Man ersieht aus dieser Beschreibung, dass dieses Instrument nicht blos als Compressorium, sondern auch für manche andere Zwecke ganz gut benutzt werden kann, so dass es zu den nützlichen Hülfswerkzeugen bei mikroskopischen Untersuchungen gezählt werden darf.

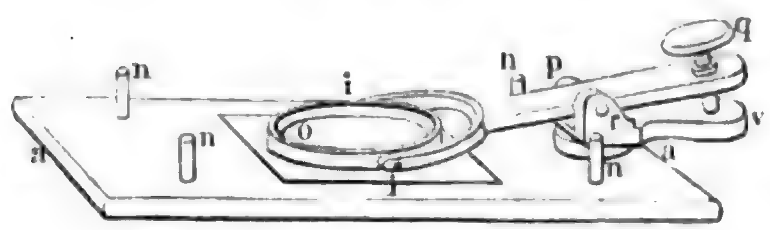
Mehr oder weniger stimmt damit überein das Compressorium von Lister, welches Smith verfertigte (Quekett l. c. p. 121), und das zwar entschieden einfacher, aber auch weit weniger brauchbar ist. Beide Glastafeln sind hier beweglich. Sie werden durch zwei Spiralfedern an einander gedrückt, die um zwei Säulchen verlaufen. Diese Säulchen sind auch zugleich Conductoren einer Messingplatte, die gegen die obere Glastafel drückt, während die untere durch Umdrehen eines Ringes, der um ein inneres Röhrchen geschraubt ist, nach oben gebracht werden kann.

Die bisher beschriebenen Druckwerkzeuge stimmen darin mit einander überein, dass die Bewegung, wodurch der Druck hervorgebracht wird, durch das Umdrehen eines mit einem Schraubengange versehenen Ringes erfolgt, dass also das Object immer in der Drehungsaxe liegt.

Anders steht es mit einer zweiten Klasse dieser Werkzeuge, bei denen der Druck in einiger Entfernung seitlich auf das Object wirkt, und wo dieser Druck nicht durch einen Ring, sondern durch eine dünne Mikrometerschraube hervorgebracht wird. Der wichtigste Vortheil dieser Einrichtung besteht darin, dass die Hand, welche die Schraube umdreht, in einer grössern Entfernung vom Objecte und vom Objective bleibt.

Das erste Compressorium mit solcher seitlichen Schraubenbewegung wurde 1836 von Schiek verfertigt (s. Ehrenberg's Infusionsthiere, Vorrede S. XVII); dasselbe ist in Fig. 374 dargestellt. Eine länglich viereckige Messingplatte *aa* hat in der Mitte eine runde Glasscheibe, die etwas über die Oberfläche hervorragt. Eine zweite Scheibe *o* von dünnerem Glase ist in einen Ring gefasst, der zwischen zwei einander gerade gegenüber befindlichen Stiften *ii* in einem Bügel beweglich aufgehängt ist. Der Bügel ist mit einem Hebel *p* verbunden, der sich bei *r* um eine Axe dreht; am andern Ende dieses Hebels aber befindet sich die Schraube *q*, die etwas schief steht und in dem die Messingplatte überragenden Stücke *v* sich herumdreht. Mittelst dieser Schraube kann der Hebel gehoben und gesenkt werden, so dass er dann am andern Ende einen grössern oder

Fig. 374.



Schiek's Compressorium.

geringern Druck ausübt; die Art aber, wie dort der Ring mit dem darin enthaltenen Glastäfelchen aufgehängt ist, hat zur Folge, dass letzteres immer parallel bleibt mit dem unterliegenden Glastäfelchen. Man kann aber ein Object bequem auf das untere Glastäfelchen bringen, weil sich das Stück *v* nebst dem damit verbundenen Hebel zur Seite drehen lässt. — Dieses Compressorium kostet 6 Thaler.

Oberhäuser's Compressorien stimmen damit so ziemlich überein, nur ist die Schraube unten statt oben angebracht. Darin ist ihnen aber eine wesentliche Verbesserung zu Theil geworden, dass das obere Glastäfelchen vermöge seiner Fassung leicht mit einem andern vertauscht werden kann, wenn es zerbricht oder beschädigt wird. — Auf dem Preiscourant steht es mit 20 Francs.

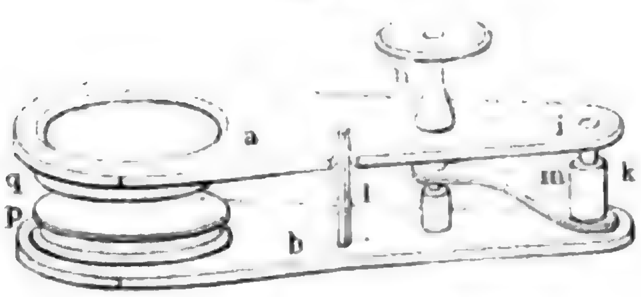
Dujardin (*Manuel etc.* p. 36) wie Amici (Mohl's Mikrographie, S. 129) sind beide bemüht gewesen, das Schiek'sche Compressorium zu vereinfachen, indem sie den Ring mit dem obersten Deckplättchen wegliessen. Sie sind aber darin nicht glücklich gewesen, da der auf diese Weise ausgeübte Druck unmöglich mit Gleichmässigkeit auf alle Punkte wirken kann.

Einen bessern Gedanken hatte Quatrefages (*L'Institut* 1841, Nr. 386), der das Compressorium so einrichtete, dass es umgedreht werden kann, wenn man das Object auf der entgegengesetzten Seite beschauen will. Sein Instrument ist nur ein verbessertes Schiek'sches Compressorium (Fig. 374), indem bei *nnnn* vier kurze senkrechte Säulchen angebracht sind, auf denen das Instrument ruht, wenn man es umgekehrt auf den Objecttisch legt. — Oberhäuser verfertigt solche Compressorien um 30 Francs.

In den Hauptpunkten stimmt ebenfalls mit dem Schiek'schen Compressorium jenes von Yeates (*Microsc. Journ.* 1842. II, p. 44); nur hat es den Vorzug, dass Deckplättchen von der verschiedensten Dicke bequem darin gewechselt werden können. Zur Leitung der Bewegung dienen drei hohle Säulchen am obern Ringe, in welche drei Stifte auf dem untern Ringe passen.

Eine etwas andere Zusammensetzung hat das Compressorium von Wallach (Stilling u. Wallach, Bau des Nervensystems. 1843. S. 46), dessen Abbildung ich in Fig. 375 nach einem von E. Wenckebach verfertigten Instrumente gebe. Es besteht aus zwei gleichgeformten und gleichgrossen Messingplatten *a* und *b*, die an dem einen Ende etwa um die Hälfte verschmälert sind. Die breiteren Enden umschliessen die runden Glasplatten *p* und *q*, die beide über die Oberfläche des Messings etwas hervorragen. Die Bewegung wird durch die Feder *m*

Fig. 375.



Wallach's Compressorium.

und die Schraube *n* bewirkt: jene hält die beiden Platten auseinander, diese hingegen nähert sie einander. Zur Sicherung der Bewegung dient die kleine Säule *k*, deren dünnere Partie in der Oeffnung *i* der obern Platte sich bewegt. Auch der Stift *l* trägt dazu bei, der in eine schief einwärts gerichtete Einkerbung der obern Platte passt. Wird die Schraube hoch genug gedreht, dann kommt die Unterfläche der obern Platte über die Spitze des Säulchens *k* und des Stiftes *l*, so dass sie dann zur Seite gedreht werden kann.

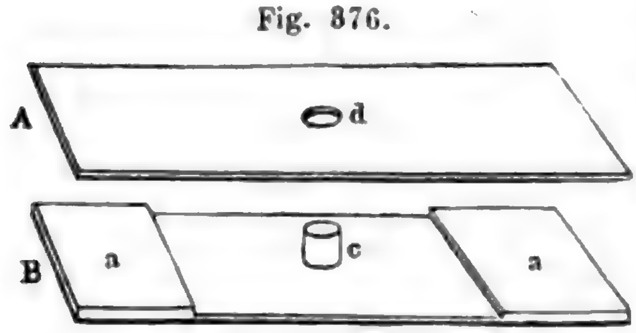
Ist dieses Compressorium gut gearbeitet, dann übt es einen sehr geregelten und gleichmässigen Druck aus. Um es noch brauchbarer zu machen, sollte es übrigens so eingerichtet sein, dass sich die Deckplatte leicht vertauschen liesse.

Ausserdem sind auch noch von Bischoff (Strauss-Durckheim, *Traité d'Anat. comp.* I, p. 87) sowie von Maissiat und Thuret eigene Compressorien erfunden worden. Das der letzteren steht auf dem Preiscourant von Oberhäuser mit 35 Francs.

493 Es sind hier noch zwei mikroskopische Instrumente zu erwähnen. Zuerst der mikroskopische Roller, von Mandl (*L'Institut* 1838, Nro. 231) erfunden, der dazu bestimmt ist, Objecte in das Gesichtsfeld zu rollen, damit sie nach einander ihre verschiedenen Oberflächen dem Auge darbieten, was zur Bestimmung der Form vieler kleiner Körperchen, wie Krystalle, Amylumkörner, Blutkörperchen u. s. w., allerdings nicht ohne Bedeutung ist. Eine Vorrichtung zu solcher mechanischen Bewegung kann man jedoch recht gut entbehren, da es in den meisten Fällen ausreicht, wenn man das Deckplättchen mit dem Hefte eines Scalpells verschiebt. Ist dabei gleichzeitig eine Regelung des Drucks erforderlich, so ist das oben (S. 398) angegebene Verfahren vollkommen ausreichend.

Zweitens ist hier das von Ludwig Fick (Müller's Archiv 1849, S. 151) beschriebene und in Fig. 376 dargestellte Instrument zu erwähnen, welches man als mikroskopischen Spanner benennen kann. Es besteht aus zwei Messingtäfelchen *A* und *B*, von der Grösse gewöhnlicher Objecttäfelchen. *B* ist an den beiden Enden *a* und *a* etwas dicker als in der Mitte, wo sich eine runde Oeffnung befindet, mit einem senkrecht stehenden Ringe *c*. Dieser Ring passt genau in die Oeffnung *d* der zweiten Platte, die eben ist, dabei aber gleichgross wie die erste.

Fig. 376.



Fick's mikroskopischer Spanner.

Will man nun ein Gewebe ausspannen, so bringt man es auf die Oeffnung des Ringes *c*, so dass ein Theil desselben über den Rand herabhängt. Bedeckt man es dann mit dem zweiten Täfelchen, so kann

das Gewebe, je nachdem man stärker oder schwächer drückt, mehr oder weniger stark ausgespannt werden.

In der That muss dieser kleine Apparat als ein recht werthvolles Hülfsmittel zur Untersuchung vieler thierischer Gewebe angesehen werden. Das Gefüge mancher Häute, des Bindegewebes, der elastischen Bänder u. s. w., lässt sich damit besser als auf irgend eine andere Weise erkennen, wie ich aus eigener Erfahrung bestätigen kann. Es ist gut, wenn man mehrere solche Spanner zur Hand hat mit Ringen von verschiedenem Durchmesser, von 5 bis 10 Millimeter.

Schliesslich sind hier noch die Mittel anzuführen, wodurch man die gläsernen Objecttafeln oder Scheiben festklammert. 494

Hartsoeker (S. 606, Fig. 221) war der erste, der beim einfachen Mikroskope hierzu zwei Täfelchen benutzte, die durch eine Spiralfeder gegen einander gedrückt wurden. Das nämliche Mittel benutzte auch Bonannus (S. 668, Fig. 273) bei seinem zusammengesetzten Mikroskope. Culpeper und Scarlet fügten ihrem Mikroskope auch einen derartigen Apparat bei, den man nach Willkür in die Oeffnung des Objecttisches einsetzen oder wieder wegnehmen konnte. Unstatthaft waren daran die drei Stifte für die mittlere bewegliche Platte, da es den kleinen Tafeln oder Scheiben dadurch erschwert wird, in der Mitte zu bleiben. Cuff verbesserte dies, und seitdem wird dieser federnde Apparat von Martin, Adams und Anderen in der Fig. 281, S. 676, bei *A* dargestellten Form gemacht, oder man ersetzt auch die beiden Seitenstücke durch vier Stifte, wodurch der Zweck natürlich eben so gut erreicht wird. So findet man diesen kleinen Apparat noch bei den älteren Mikroskopen Pritchard's.

Später hat man jedoch allgemein einem andern Mittel den Vorzug gegeben, welches in einer roheren Form zuerst bei den Mikroskopen Brander's (S. 680) vorkommt. Dieser befestigte nämlich auf den Objecttisch eine hufeisenförmige Feder, wodurch die Objecttäfelchen eingeklemmt wurden. Dieses Beispiel ahmte Dellebarre (Fig. 283, S. 682) nach. Weiterhin ist diese Einrichtung dadurch sehr verbessert worden, dass man die Feder an zwei Stifte befestigte, die in zwei Oeffnungen des Objecttisches passen und in zwei darunter befindlichen engen Röhren gehen. Statt der Hufeisenform hat man auch wohl die Umbiegung im rechten Winkel gewählt. Diese findet sich bei Amici's Mikroskopen (Fig. 294, S. 719), sie kommt aber auch bereits an denen von Jones (Fig. 282, S. 679) vor, und sie ist seitdem bei den englischen Optikern allgemein im Gebrauche geblieben.

Noch einfacher und in gewisser Beziehung zweckmässiger ist die Einrichtung Chevalier's, die in Fig. 377 (a.f.S.) erläutert ist. Dieser nimmt nur zwei federnde Streifen Messingblech, und jeder davon ist an einem runden Stifte *p* befestigt, der in eine Oeffnung des Objecttisches kommt und sich darin herumdrehen kann. Man kann so Täfelchen von ver-

schiedener Länge festklemmen und die Federn immer leicht zur Seite schieben oder wegnehmen, wenn man den Objecttisch ganz frei haben will. Solche Klemmer hat auch Brunner bei seinen Mikroskopen. Auch an den älteren Oberhäuser'schen kommen sie vor, aber nicht mehr bei den neueren. Dergleichen finden sich ferner auch an den älteren Nachet'schen Mikroskopen. Nachet hat aber späterhin die zweckmässige Veränderung damit vorgenommen, dass die beiden Messingstreifen (Fig. 291, S. 715) in seichte Gruben an der Oberfläche des Objecttisches passen, also nicht hinderlich sind, wenn der Klemmapparat nicht gebraucht wird. Drückt man auf zwei an der Unterseite befindliche Federn, so treten sie heraus und man kann das Objecttäfelchen damit festklemmen.

Fig. 377.



Chevalier's Klemmfeder.

Weniger zweckmässig ist die Einrichtung an den neueren kleinen Mikroskopen Nachet's, wo die Objecttafel nur an eine senkrecht zum Objecttische stehende und blos vor- und rückwärts darauf verschiebbare Leiste stösst. Der einzige Zweck hierbei kann nur der sein, das Herabrutschen der Objecttafeln zu verhindern, sobald das Mikroskop in eine geneigte Stellung kommt. Dabei wird aber vorausgesetzt, dass die kleine Objecttafel genau rechtwinkelig liegt; im entgegengesetzten Falle muss das Object aus dem Gesichtsfelde gerückt werden, sobald die genannte bewegliche Leiste an den Rand des Täfelchens stösst.

495 Für den letztgenannten Fall hat man am magnetischen Objecttische eine zweckmässige Beigabe zum Mikroskope. Die erste Idee zu einem solchen stammt von King in Bristol, der im Jahre 1851 der *Microscopical Society* ein damit versehenes Mikroskop vorzeigte. Dessen Zusammensetzung kenne ich jedoch nicht.

Weiterhin gab Busk (*Quart. Journ.*, July 1854, Nr. VIII, p. 280) die Beschreibung und Abbildung einer solchen Einrichtung, die sehr einfach ist und an jedem Mikroskope angebracht werden kann. Zwei fast halbkreisförmige Magnetstäbchen befinden sich unmittelbar unter dem gewöhnlichen messingenen Objecttische und umgeben dessen Oeffnung. Ihre Polenden sind einander zugekehrt, so dass nur zwei bis drei Millimeter Zwischenraum bleibt; beide zusammen bilden daher einen beinahe geschlossenen Ring. Nahe jedem Polende ist ein senkrechter Eisenstift angebracht; derselbe passt in eine kleine Oeffnung des Objecttisches und überragt diese haarbreit. Durch diese vier Stifte wird also die magnetische Kraft auf die Oberfläche des Objecttisches geleitet. Als Objectträger dient eine längliche Eisenplatte, so lang, dass sie zu beiden Seiten über den Objecttisch hervorragt, und an den beiden Enden schmäler als in der Mitte. Dort befindet sich eine Oeffnung und zu beiden

Seiten dieser eine Klammer, um nöthigenfalls das Glastäfelchen mit dem Objecte zu befestigen.

Eine Vereinfachung hat Newton Tomkins (*Quart. Journ.*, July 1857, Nr. XX, p. 237) damit vorgenommen: statt zweier Magnete befestigt er nur einen einzigen hufeisenförmigen Magnet in den Objecttisch.

Eine wichtigere Aenderung hat Spencer (*Quart. Journ.*, January 1855, Nr. X, p. 174) damit vorgenommen. Mit dem Objectträger verbindet er eine magnetisirte dünne Eisenplatte oder einen Eisenstab, und die Oeffnung des Objecttisches umgiebt er mit einem nichtmagnetisirten Eisenringe. Der Erfolg davon ist natürlich gleich, wie bei den beiden anderen Einrichtungen.

Ein solcher magnetischer Objecttisch bewährt sich in doppelter Beziehung nützlich. In Folge der stattfindenden Haftung wird die regelmässige und langsame Bewegung des Objects durch die Hand erleichtert. Zweitens aber kann auch die magnetische Anziehung die gewöhnlich benutzten Klemmfedern ersetzen, wodurch das Object an seiner Stelle festgehalten wird, namentlich bei geneigter Stellung des Mikroskoprohres. Um diesen letztern Gewinn vollständig zu erlangen, sollte auch der Objectträger selbst keine Klammern haben. In der That werden diese ganz entbehrlich gemacht, wenn man den Objectträger auf der einen Seite mit einem zwei bis drei Millimeter hohen Rande umgiebt, wogegen das Glastäfelchen stösst.

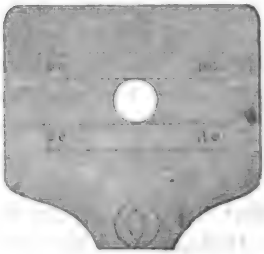
Indessen knüpft sich auch ein Uebelstand an einen solchen magnetischen Objecttisch, insofern nämlich alle eisernen Instrumente der Oxydation weit eher unterliegen als messingene, zumal solche Magnete und eiserne Objectträger nicht wohl gefirnisst werden können. Freilich sind auch die Kosten einer solchen Einrichtung und der etwa nöthigen Reinigung und Polirung der eisernen Oberflächen so gering, dass jener Uebelstand nicht als Grund einer gänzlichen Verwerfung gelten kann; nur wird man diejenige Einrichtung wählen müssen, wobei das Eisen dem Rosten am wenigsten ausgesetzt ist. Deshalb verdient es den Vorzug, wenn man, wie Busk es gethan hat, die Magnete unter den messingenen Objecttisch bringt. Der Objectträger muss dann aus zwei dünnen auf einander befestigten Metallplatten bestehen, einer untern eisernen und einer obern messingenen, und zwar die letztere mit einem niedrigen aufwärts gerichteten Rande, damit die eiserne Platte gegen das zur Befeuchtung der Objecte benutzte Wasser geschützt bleibt.

Ich habe mir nach diesen Grundsätzen von H. Olland in Utrecht für ein kleines Nachet'sches Mikroskop einen magnetischen Objecttisch machen lassen, der Fig. 378 (a. f. S.) in halber Grösse dargestellt ist. Bei *A* sieht man die beiden auf der Unterfläche des Objecttisches befindlichen, durch punktirte Linien angedeuteten geraden Magnetstäbe, 50 Millimeter lang, 5 Millimeter breit und 4 Millimeter hoch. Sie stehen 22 Millim. von einander ab. Mit den Polenden sind die vier kurzen Stahlcylinder *a*, *b*, *c* und *d* in Verbindung, die oben abgerundet sind und die Ober-

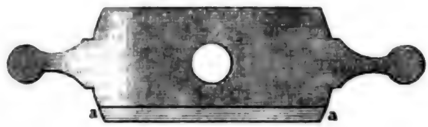
fläche des Objecttisches etwa um $^1/_5$ Millim. überragen. *B* ist der Objectträger, 120 Millim. lang und 35 Millim. breit, mit ein paar Hand-

Fig. 378.

A.



B.



Magnetischer Objecttisch nach Harting.

haben an beiden Enden. Er besteht aus einer untern eisernen und einer obern messingenen Platte, jede 1 Millim. dick; der vordere Rand der letztern hat aber eine 2 Millim. hohe Leiste *a a*.

Stösst nun ein Objecttäfelchen an diese Leiste *a a*, dann kann man das Mikroskop horizontal stellen, ohne dass man zu besorgen braucht, es werde vom Objecttische fallen. Es ist sogar räthlich, dass man keine zu kräftigen Magnetstäbe nimmt, weil sonst der Objectträger zu schwer beweglich wird. Die magnetische Kraft soll nur soviel wirken, dass der Objectträger gerade am Objecttische haftet und somit nicht umfällt.

Als ich Nachet diesen magnetischen Objecttisch beschrieb, glaubte er zwei Verbesserungen daran anbringen zu können. Erstens wollte er die beiden Magnete nicht durch Schrauben mit dem Objecttische verbinden, sondern an einem besondern kleinen Arme befestigen, der sich nach Willkür auch etwas nach unten bewegen lässt, so dass dann die Enden der vier kleinen Stahlcylinder unter die Oberfläche des Objecttisches kommen. Zweitens will er die Eisenplatte des Objectträgers mit einer Kupferschicht bedecken, indem er sie mit einer Kupfersalzsolution bestreicht.

Drittes Kapitel.

Einrichtungen zur mechanischen Bewegung der Objecte im Gesichtsfelde.

Sehr frühzeitig schon wurde es von Manchen nöthig erachtet, die weniger feste Bewegung der Hand durch mechanische Mittel zu ersetzen. Die Bewegung der Objecte im Gesichtsfelde ist aber doppelter Art, nämlich geradlinig oder drehend, und beide kommen schon am Mikroskope Hertel's (Fig. 276, S. 671) vor. 496

Hier war nur für eine geradlinige Bewegung in Einer Richtung gesorgt. Soll aber ein Object successiv alle seine Theile in die Axe des Mikroskops bringen, so ist noch eine zweite geradlinige Bewegung erforderlich, rechtwinkelig auf der ersten. Das erste Mikroskop mit einer solchen diagonalen Bewegung mittelst zweier Schrauben ist das vom Duc de Chaulnes 1767 beschriebene (S. 680). Die Schrauben dienten zugleich als Mikrometer; wir müssen daher im folgenden Kapitel noch einmal darauf zurückkommen, sowie auf den ähnlichen Apparat, welchen Benjamin Martin ein paar Jahre später verfertigte und seinem zusammengesetzten Mikroskope beifügte.

Auch Tiedemann (Krünitz, Encyclopädie Bd. 90, S. 309) hatte für seine Mikroskope einen besondern, durch zwei Schrauben beweglichen Objecttisch.

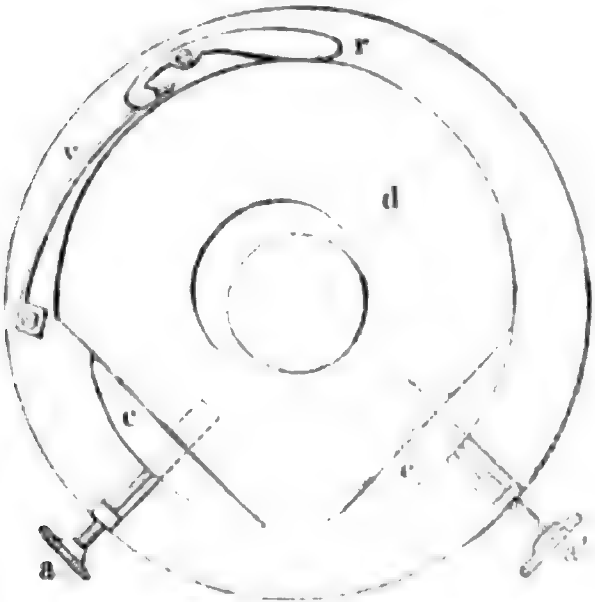
So war also die künstliche Bewegung des Objecttisches schon lange vor Frauenhofer bekannt, der, wie häufig angeführt wird, dieselbe zuerst eingeführt haben soll. Seine Einrichtung, und ebenso jene beim Amici'schen horizontalen Mikroskope, stimmt übrigens ganz mit der früher gebräuchlichen überein. Alle hatten einen vierseitigen Schlitten, der durch zwei um 90° von einander abstehende Schrauben in den schwalbenschwanzförmigen Rinnen eines dazu bestimmten Rahmens bewegt wurde.

Es erhielt sich diese Einrichtung weiterhin noch lange Zeit hindurch. Oberhäuser brachte aber dadurch eine Verbesserung zu Stande, dass er den todten Gang der Schrauben, der zwar anfangs nicht vorhanden ist, aber allmälig durch den wiederholten Gebrauch entsteht, durch den Druck einer Feder beseitigte, die in Verbindung mit einem Hebel wirkt. Sein beweglicher Objecttisch, den er aber nur auf besonderes Verlangen dem Mikroskope beilegt, ist Fig. 379 (a. f. S.) abgebildet. Die beiden Schrauben *aa'* setzen die Platte *d* in Bewegung. Diese ist abgerundet auf der Seite, wo sie an die Feder *v* und den Hebel *r* stösst; die beiden gegen-

überliegenden Seiten aber sind rechtwinkelig verbunden, dass sie in den Rinnen der Stücke *c* und *c* gleiten können.

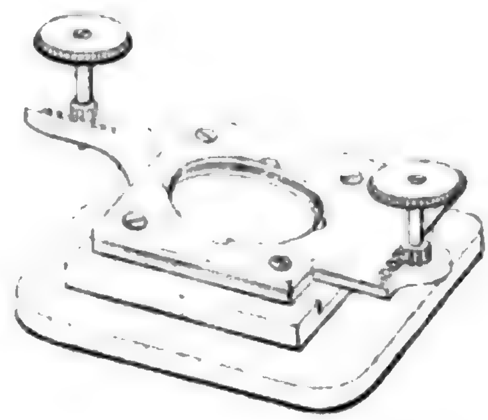
Diese Bewegung kann natürlich ebenso gut durch einen Trieb wie durch eine Schraube bewirkt werden. Bei dem in Fig. 380 dargestellten

Fig. 379.



Oberhäuser's beweglicher Objecttisch.

Fig. 380.

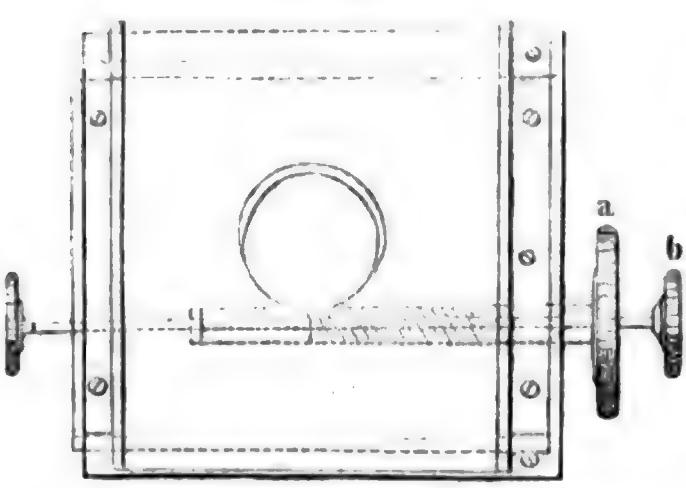


Schiek's beweglicher Objecttisch.

Schiek'schen Objecttische ist der Trieb dazu benutzt worden, dessen Wirkung aus der Abbildung sogleich vollständig erhellt.

Beiderlei Bewegungen lassen sich aber auch vereinigen, und in Tyrrell's beweglichem Objecttische (*Transact. of the Soc. of Arts*, XLIX.), welcher Fig. 381 dargestellt ist, wurde das auf eine recht vollkommene Weise erreicht. Die beiden Knöpfe *a* und *b*, durch deren Drehung der Objecttisch in allen Richtungen bewegt wird, liegen in der nämlichen Axe, so dass man beide fast zugleich mit der nämlichen Hand fassen kann. Die Bewegung in der einen Richtung geschieht durch eine Schraube, in der andern durch einen Trieb.

Fig. 381.



Tyrrell's beweglicher Objecttisch.

Endlich hat man auch den Hebel angewendet, um den Objecten eine willkürliche langsame Bewegung zu ertheilen. Varley hat 1841 den Objecttisch seines Mikroskops (Fig. 308, S. 757) durch dieses Mittel beweglich gemacht. Mit dem Stücke *b* ist der hintere Theil des Objecttisches bei *g* verbunden. Hier entspringt der Arm *r*, der in Verbindung mit den beiden kürzeren Armen *qq* dazu bestimmt ist, den Hebel *s* zu stützen, woran zwei Kugeln befestigt sind: die untere wirkt zwischen zwei Platten bei *p*, die obere zwischen zwei anderen Platten bei *t*. Die

obere von den beiden letzten Platten ist mit der Platte *h* verbunden, auf welcher der Objecttisch *y* ruht. Der Hebel reicht so weit nach unten gegen den Tisch, worauf das Mikroskop steht, dass die auf den Tisch gestützte Hand ihn in jeder Richtung zu bewegen vermag. Dadurch wird aber eine geringere Bewegung des Objecttisches herbeigeführt, die bei Varley's Mikroskope nur $^1/_6$ der Bewegung des Hebels entspricht. Damit die beiden Seiten der Platte *h* sich gleichzeitig bewegen können, ist noch eine parallele Bewegung dabei; bei *w* sieht man die eine der dazugehörigen Stangen. Nach welcher Seite sich auch die Kugeln bewegen, die Platte *h* folgt ihren Bewegungen. Nach Varley kann man Thierchen, die sich schnell bewegen, wie etwa Infusorien, ganz leicht damit im Gesichtsfelde behalten.

Auf demselben Principe beruht auch der von Alfred White (*Transact. of the microscop. Society*, I. 1843) beschriebene bewegliche Objectivtisch, der an dem Smith'schen Mikroskope (Fig. 307, S. 754) mit abgebildet ist. Es besteht derselbe aus drei Platten, von denen die unterste feststeht, während die beiden anderen schwalbenschwanzartige Leisten und Rinnen besitzen, so dass jede Platte für sich, oder auch beide zusammen durch den Hebel *o* bewegt werden können. Dieser hat 5 Zoll Länge und ist oben mit Metall beschwert, als Gegengewicht des schweren Objecttisches. Unten hat er eine Kugel, die in eine muldenförmige Aushöhlung der obern Platte passt, und etwa einen Zoll darüber befindet sich eine zweite Kugel, die auf die Aushöhlung *p* eines kleinen am Stative *l* befindlichen Armes wirkt. Die schwalbenschwanzartigen Leisten der mittlern Platte verlaufen horizontal, jene der obern Platte vertical. Wird nun der Hebel *o* nach dem Stative *l* zu bewegt, oder in entgegengesetzter Richtung, dann werden sich die beiden Platten in entgegengesetzter Richtung bewegen; bewegt man ihn dagegen in einer Linie, die mit dem Rande des Stativs parallel ist, dann theilt sich die Bewegung nur der obersten Platte mit.

Natürlich muss sich hier ebenso wie bei Varley's Einrichtung die Hand in gleicher Richtung mit dem Objecte bewegen, weil das zusammengesetzte Mikroskop das Bild umkehrt, und durch die Wirkung des Hebels die Bewegungen sich ebenfalls umkehren.

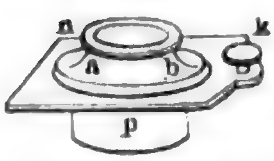
Man muss zugeben, dass diese Hebelapparate recht gut ausgedacht sind, und ohne Zweifel übertreffen sie jene Apparate, wo die Bewegung durch Schrauben oder Räder ausgeführt wird, durch die Leichtigkeit, mit welcher die grösste Mannigfaltigkeit der Bewegung erzielt werden kann. Sie stehen diesen jedoch in der Verlangsamung der Bewegung nach, und somit auch in Betreff der Genauigkeit, mit welcher ein Object an eine bestimmte Stelle des Gesichtsfeldes gebracht werden kann. Die Schnelligkeit der Bewegung des Objects verhält sich zu jener der Hand, welche den Hebel in Bewegung setzt, bei Varley wie 1:6, bei Alf. White wie 1:4. Vielleicht liesse sich der Apparat so einrichten, dass ein noch günstigeres Verhältniss herauskäme; niemals indessen wird der-

selbe mit der Schraubenbewegung wetteifern können, womit man die Bewegung fast bis zum Unmerklichen verlangsamen kann. Eine Schraube z. B. mit zehn Windungen auf einer Strecke von einem Centimeter, deren Knopf zwei Centimeter Durchmesser hat, wird bei einer vollständigen Umdrehung, wobei also die drehenden Finger etwa 63 Millimeter durchlaufen, nur eine Bahn von einem Millimeter zurücklegen.

In den wenigen Fällen, wo eine mechanische Bewegung der Objecte wirklich erforderlich ist, beim Gebrauche des Ocularschraubenmikrometers, und wenn man die Spitze eines Krystallwinkels in den Kreuzungspunkt der Fäden eines Goniometers bringen will, verdient somit die Schraube immer den Vorzug, und für die einfache Beobachtung, wobei man successiv die verschiedenen Theile des Objects ins Gesichtsfeld bringen muss, sind gewiss die geübten Finger bei weitem die besten Hebel.

497 Der zweite Bewegungsmodus des Objecttisches ist die Drehung um seine Axe. Wir haben schon gesehen, dass Hertel 1716 den Objecttisch seines Mikroskops mittelst eines Räderwerks drehbar machte. Erst viele Jahre später, nämlich 1777, folgte ihm Benjamin Martin hierin nach. Dieser fügte nämlich seinem Mikroskope (Fig. 281, S. 676) noch eine besondere vierseitige Platte bei, die in Fig. 382 dargestellt ist. Dieselbe passt durch das kurze Rohr *p* in den Objecttisch und enthält eine gezahnte Scheibe, welche durch ein kleines zur Seite stehendes Rad, dessen Knopf bei *k* sichtbar ist, herumgedreht werden kann. Die gezahnte Scheibe hat bei *ab* eine runde Oeffnung, in welche eine kegelförmig zulaufende Röhre passt, die nach Art eines Thierbüchschens ein concaves Glas am Boden hat, und durch den einzuschraubenden Ring *n*, der eine platte Glasscheibe enthält, geschlossen wird. Die Objecte können somit zwischen die beiden Gläser gelegt werden und ebenso auf die Oberfläche des obern.

Fig. 382.



Martin's drehbarer Objecttisch.

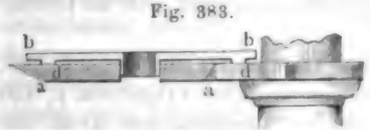
Der drehbare Objecttisch scheint indessen damals nicht viel Beifall gefunden zu haben. Wenigstens findet man ihn nicht bei späteren Mikroskopen, bis Strauss-Durckheim (*Traité pratique* I, p. 74) sein einfaches Mikroskop damit versah. Daran hielten sich wieder Trécourt und Oberhäuser, die aber eine wesentliche Veränderung daran anbrachten. Der drehbare Objecttisch (*Platine à tourbillon*) an ihren grösseren Mikroskopen dient nämlich nicht blos zum Umdrehen des Objects, sondern zum Umdrehen des ganzen Mikroskops, mit Ausnahme des Spiegels. Der Hauptzweck geht demnach auch nicht auf die eigentliche Bewegung, sondern die Beleuchtung soll verändert werden, indem die Strahlen das Object während der Umdrehung auf verschiedene Weise treffen. — Nachet hat für seine grösseren Mikroskope Oberhäuser's Beispiel nachgeahmt.

Bei den Mikroskopen von Brunner und Pacini dagegen dreht sich

blos der Objecttisch, der hier als Goniometer dienen soll. Die englischen Optiker (Ross, Powell, Smith) versehen ihre Mikroskope ebenfalls mit einem solchen drehbaren Objecttische. Bis vor Kurzem pflegten sie diese über die Platte zu bringen, welche zur diagonalen Bewegung des Objects bestimmt ist, und das hat zur Folge, dass beim Umdrehen das Object meistens bald aus dem Gesichtsfelde rückt, wenn die Axe der drehenden Platte nicht genau mit der Axe des Mikroskops zusammenfällt. Diesem Uebelstande hat aber Legg (Quekett l. l. p. 451) auf einfache Weise abgeholfen: die drehbare Platte brachte er unmittelbar unter die Grundplatte des Objecttisches und unter die diagonal bewegliche Platte, so dass die Drehungsaxe mit der Mikroskopaxe immer zusammenfällt.

Bei Mikroskopen, die keinen diagonal beweglichen, immer etwas theuern Objecttisch haben, lässt sich dieser in den meisten Fällen durch eine Objectdrehscheibe ersetzen, wie sie Welcker (Aufbewahrung mikroskopischer Objecte u. s. w., S. 27) angegeben hat. Sie ist Fig. 383 im Durchschnitte und in halber Grösse dargestellt. Eine runde Messingplatte *bb* hat in der Mitte eine Oeffnung, umgeben von einem nach unten hervorragenden kurzen Anhange, der in die Oeffnung des Objecttisches *aa* passt und sich darin umdrehen kann. Die Platte ruht nicht mit der ganzen Fläche auf dem Objecttische, denn das würde eine zu starke Reibung veranlassen, sondern nur mittelst der ringförmigen Erhabenheit *dd*, die sich in geringer Entfernung vom Rande der Platte befindet. Dieser Rand ist übrigens eingekerbt, damit die Scheibe mit den Fingern bequem herumgedreht werden kann.

Fig. 383.



Objectdrehscheibe von Welcker.

Viertes Kapitel.

Apparate zum Messen und Zeichnen der Objecte.

498 Ohne Zweifel musste man schon frühzeitig auf Mittel bedacht sein, die wahre Grösse der Objecte kennen zu lernen, die man durchs Mikroskop beobachtete. Der erste, der eine desfallsige Methode angab, war Robert Hooke. In der Vorrede zu seiner 1665 erschienenen *Micrographia* theilt derselbe mit, wie man die Grösse des Bildes messen kann, wenn man mit dem einen Auge durchs Mikroskop nach dem Objecte sieht und mit dem andern auf einen getheilten Maassstab: kennt man nämlich dann die Vergrösserung des Mikroskops, so lässt sich die Grösse des Objects daraus leicht berechnen.

Hooke's Methode ist demnach nichts anderes als ein Doppelsehen, wobei ich zugleich bemerken will, dass sie Keppler (*Dioptrice*, p. 45) bereits 1611 ebenso empfohlen hatte, um die vergrössernde Kraft des Fernrohres dadurch zu bestimmen. Dass diese Methode unter besonderen Bedingungen zuverlässige Resultate zu liefern vermag, ist bereits früher (S. 519) dargethan worden. Nur konnte sie dies bei Hooke nicht leisten, weil diesem die Mittel fehlten, sich eine genaue Kenntniss der Vergrösserung seines Mikroskops zu verschaffen.

499 Noch unvollkommener war Leeuwenhoek's Verfahren, der als Maasseinheit Objecte benutzte, die unter einander in der Grösse sehr differiren, und dann nach Schätzung berechnete, wie viel Mal ein durchs Mikroskop gesehenes Object in jener Maasseinheit enthalten war. Sehr gern benutzte er als Maasseinheit ein grobes Sandkorn. In einem 1680 an R. Hooke gerichteten Briefe (*Ondervindingen en Beschouwingen*. Delft 1694, p. 56) erklärt er ausführlich, wie er die Grösse der Objecte darnach berechnete, und erläutert es durch eine Abbildung und durch Beispiele; er giebt aber nicht an, den wievielsten Theil eines gebräuchlichen Maasses das von ihm benutzte Sandkörnchen ausmachte. In einem spätern Briefe von 1684 (*Ontledingen en Ontdekkingen*. Leyden 1698, p. 37) giebt er an, er habe ein Sandkorn benutzt, das ziemlich $^1/_{30}$ Zoll Durchmesser hatte. Nirgends tritt es aber hervor, dass Leeuwenhoek darunter immer eine Normalgrösse verstanden hätte, vielmehr erkennt man aus dem Ganzen, dass er durch den Vergleich mit einem Sandkorne nur eine etwas anschauliche Vorstellung von der Kleinheit der durchs Mikroskop beobachteten Objecte geben wollte. Auch gelangte er späterhin zur Einsicht, wie unsicher seine Maasseinheit war, und deshalb wählte

er statt der Sandkörnchen lieber Hirse oder Senfkörner (*Sendbrieven.* Delft 1718, p. 404). Doch pflegte er auch noch andere Gegenstände für diesen Zweck zu benutzen, namentlich Kopfhaare und Blutkörperchen, wie man aus mehreren Stellen seiner Briefe ersehen kann.

Zu verwundern ist es, dass Leeuwenhoek bei dieser ganz unvollkommenen Methode dennoch manche sehr genaue Grössenbestimmungen hat; man muss es sich wohl daraus erklären, dass sein Auge durch jahrelange Uebung eine Sicherheit in den Maassbestimmungen erlangt hatte, die einem minder geübten Beobachter ganz entgehen muss. So schätzt er z. B. das Blutkörperchen im Mittel zu $^1/_{100}$ des Sandkorns, d. h. also, das Sandkorn zu $^1/_{30}$ Zoll angenommen, zu $^1/_{3000}$ Zoll, was mit dem Mittelwerthe, wie er durch unsere jetzigen Hülfsmittel festgestellt ist, sehr nahe übereinkommt.

Noch während der letzten Lebensjahre Leeuwenhoek's gab James 500
Jurin (*Dissertations upon physico-mathematical Subjects.* 1732, p. 45) ein zweckmässiges Verfahren an, den Durchmesser der durchs Mikroskop beobachteten Körperchen auf eine genauere Weise im gewöhnlichen Maasse auszudrücken. Es wurde nämlich ganz feiner Silberdraht so dicht aufgewunden, dass gar kein Zwischenraum übrig blieb, wovon er sich mittelst eines Vergrösserungsglases überzeugte. Hierauf maass er eine gewisse Anzahl dieser Windungen mit dem Cirkel, dividirte in das gefundene Maass mit der Anzahl der Windungen und fand so die Dicke des verwendeten Silberdrahts. Kleine Stückchen dieses Silberdrahts brachte er dann zugleich mit dem zu messenden Objecte in das Gesichtsfeld des Mikroskops. So fand er, dass sein Draht $^1/_{485}$ Zoll dick war, dass vier Blutkörperchen auf die Breite desselben gingen, die Grösse des einzelnen Blutkörperchens mithin $^1/_{1940}$ Zoll betrug, was freilich weit mehr von der mittleren Grösse abweicht, als die Leeuwenhoek'sche Messung.

Indessen kannte man damals bereits bessere Hülfsmittel. Bei den 501
Fernrohren hatte man seit der Mitte des 17. Jahrhunderts verschiedene Arten Mikrometer gebraucht, deren Erfindung von 1640 datirt und von dem Engländer Gascoigne ausging, der während des Bürgerkrieges in seinem Vaterlande in der Schlacht bei Marston-Moore fiel. Dieser befestigte zwei Fäden im Focus des Oculars, von denen der eine fest war, während der andere mittelst einer Schraube hin- und herbewegt wurde. Das ist jedoch erst lange nach seinem Tode bekannt geworden (*Philos. Transact.* 1717, p. 603), als Derham in den Besitz von Gascoigne's Handschrift gekommen war.

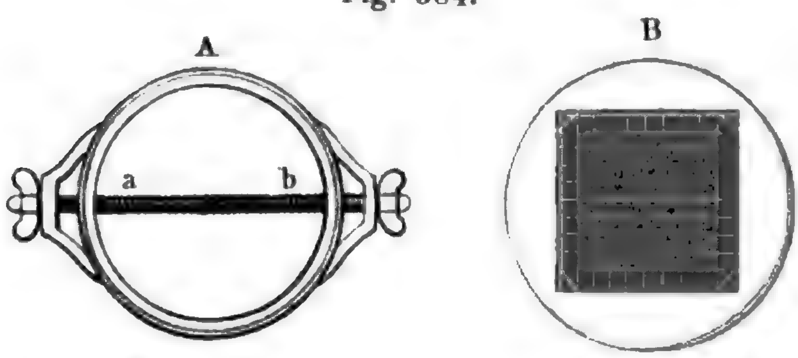
Im Jahre 1710, also noch bei Lebzeiten von Leeuwenhoek sowohl als von Jurin, erschien eine kleine, jetzt selten gewordene Abhandlung über Mikrometer von dem Erlanger Professor Theodor Balthasar (*Micrometria, hoc est de micrometrorum tubis opticis seu Telescopiis*

et Microscopiis applicandorum varia structura et usu. Erlang. 1710). Er handelt ausführlich über die verschiedenen damals gebräuchlichen astronomischen Mikrometer, empfiehlt sie auch zu mikroskopischen Messungen, und giebt dazu recht zweckmässige, auch jetzt noch brauchbare Vorschriften. So sagt er z. B. S. 120: *Quod si vero accuratior mensura objecti desideretur, utendum erit Micrometro aliquo cochleato, qualia plurima Cap. III. citato exhibuimus. Quando vero aliquod Micrometrum ita applicatum est, ut una cum objecto videndo et mensurando distinctae appareant pinnulae, distantia vitrorum est accurate annotanda et in plano objectivo lineola ducenda ea longitudine, ut tota uno obtectu per Microscopium appareat, v. g.* $^1/_{10}$, $^1/_{20}$ *aut* $^1/_{30}$ *etc. unius pollicis vulgaris. Diducendae postea, circumgyrando cochleam, eo usque sunt pinnulae, ut extremitatibus istius lineolae exacte congruant, quo impetrato videndum, quot particulis Micrometri pinnulae a se invicem distant, et lineolae longitudini respondeant; hic enim particularum numerus posthinc erit instar normae, juxta quam alia objecta mensuranda sunt.*

Als eigentliches Mikrometer empfahl er ein Schraubenmikrometer im Focus des Oculars, wovon er mehrere Arten beschreibt. Zum Zeichnen der durchs Mikroskop wahrgenommenen Objecte will er ein aus Pferdehaaren zusammengesetztes Netz benutzen, welches ebenfalls in den Focus des Oculars kommen soll.

Diesen Vorschlag brachte zuerst Hertel (Anweisung u. s. w. S. 160, und Vollständiges Lehrgebäude, S. 448) 1716 bei seinem Mikroskope (Fig. 276, S. 671) in Anwendung, in der in Fig. 384 dargestellten Weise. Unter das Ocular brachte er ein Netz aus Pferdehaaren, welches aus 100 Vierecken bestand (*B*). Ausserdem benutzte er auch ein sehr einfaches Schraubenmikrometer (*A*), welches in der Hauptsache mit einem der von Balthasar beschriebenen astronomischen Mikrometer übereinstimmte. Ein Messingring hatte zu beiden Seiten zwei kleine Bügel; durch diese und zugleich auch durch die entgegengesetzten Punkte des Ringes selbst gingen zwei Schrauben *a* und *b*, die in der Mitte des Ringes aufeinander stiessen, ziemlich in der Weise, wie in dem jetzigen *Oculaire à vis de rappel.* Dieser Ring kam in den Focus des Oculars. Die aus dem Ringe hervorstehenden Schraubenenden hatten platte Handgriffe oder Knöpfe und beim Gebrauche wurden die Viertelsumgänge gezählt.

Fig. 384.



Hertel's Schraubenmikrometer. Hertel's Mikrometernetz.

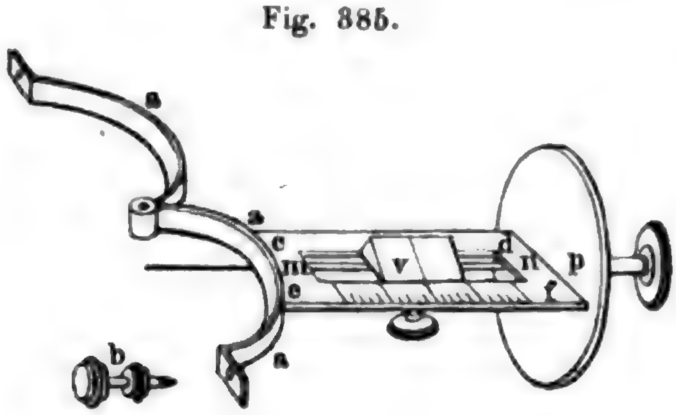
Die Grösse des einzelnen Umgangs maass Hertel auf folgende Weise. Beide Schrauben wurden so weit von einander entfernt, dass

ihre Enden am Rande des Gesichtsfeldes sich befanden. Nun wurde ihr scheinbarer Abstand oder die Grösse des Gesichtsfeldes durch einen zur Seite des Mikroskops gehaltenen Cirkel gemessen, und ebenso wurde der wirkliche Abstand beider Schraubenenden durch directe Messung bestimmt. Dann zählte man die Anzahl der Windungen in diesem Raume und berechnete aus diesen Daten den Werth der Viertelswindung, der bei Hertel's Instrumente $^1/_{1680}$ rhein. Zoll betrug.

Einige Jahre später kamen die Ocularmikrometer in allgemeineren Gebrauch, namentlich durch Benjamin Martin (*Description and Use of a Pocket reflecting Microscope with a micrometer*, 1739. *New System of Opticks*, 1740, p. 277). Er verfiel auch zuerst darauf, statt der Faden- und Haarnetze Striche zu benutzen, die mit dem Diamanten auf Glas gezogen wurden. Seine Glasmikrometer hatten 40 Striche auf einen Zoll. Martin's Schraubenmikrometer war, wie bei Hertel, ein Ocularmikrometer; doch hatte es eine etwas andere Einrichtung, und die damit vorgenommenen Messungen fielen genauer aus. Es gehörte nur Eine Schraube dazu, und es gingen 50 Windungen auf Einen Zoll. Jener Theil der Schraube, der sich im Gesichtsfelde zwischen den beiden Augengläsern befand, endigte in eine feine Spitze; der andere, welcher aus dem Mikroskoprohre hervorragte, hatte einen Index, wodurch auf einem Zeigerblatte der zwanzigste Theil einer Umdrehung angegeben wurde (s. Fig. 280). Jede Theilung auf dem Zeigerblatte gab also direct $^1/_{1000}$ Zoll an. Da aber nicht das Object, sondern das vergrösserte Bild gemessen wurde, so wurde durch diese Theilungen wirklich eine weit geringere Grösse angegeben, die im Voraus berechnet werden musste. Martin selbst giebt an, dass man den Durchmesser der Objecte mittelst dieses Schraubenmikrometers leicht bis auf $^1/_{10000}$ Zoll bestimmen könne.

Bald darauf gab Adams (*Micrographia illustrata*, 1746) seinem Mikroskope ein solches Schraubenmikrometer, das er als Nadelmikrometer benannte. Es ist Fig. 385 dargestellt. In der Hauptsache stimmt es mit Martin's Instrumente; es waren aber zwei Verbesserungen daran angebracht. Erstens sass es nicht fest am Mikroskoprohre, sondern wurde nur durch den Bügel *aaa* und die Schraube *b* daran befestigt, wenn es in Gebrauch gezogen werden sollte. Wichtiger war aber die zweite Verbesserung, die darin bestand, dass jeder vollständige Umgang der Schraube *mn* abgelesen wurde; denn dieselbe bewegte sich durch den länglich vierseitigen Rahmen *cdef* mit eingeschnittener Theilung, so dass jedes Interstitium einer ganzen Umdrehung der getheilten Scheibe

Fig. 385.



Nadelmikrometer von Adams.

p entsprach. Durch das Stück *v*, woran sich ein als Index dienender Streifen befand, wurde die Fortbewegung der Schraube gemessen. Man muss jedoch zugeben, dass diese Verbesserungen nicht so gross sind, um die Ehre der Erfindung dieses Mikrometers Adams allein zuzuschreiben, wie es später dessen Sohn (*Essays on the Microscope*, 1798, p. 54) gethan hat. Selbst die Zahl der Schraubenwindungen und die Eintheilung des Zeigerblattes war ganz so, wie am früheren Instrumente Martin's.

Ein paar Jahre später gab Brander (Beschreibung zweier zusammengesetzten Mikroskope, 1769, S. 34) auch ein ganz damit übereinstimmendes Schraubenmikrometer zu seinem Mikroskope. Seine Glasmikrometer übertrafen aber die Martin'schen in der feinen Theilung: die darauf befindlichen Felder sind $^1/_{10}$ Quadratlinien gross, d. h. der Zoll ist in 100 Theile getheilt, die Theilung mithin $2^1/_2$ Mal feiner als auf dem Martin'schen Glasmikrometer. Bei der Untersuchung eines solchen Brander'schen Mikrometers ergaben sich mir folgende Werthe, aus denen man ersieht, dass es Brander für seine Zeit schon ziemlich weit in der Kunst gebracht hatte, feine Theilungen auf Glas zu machen. Die durch den Diamanten gezogenen Striche nämlich sind 0,002 bis 0,003 Millimeter dick; unter zehn gemessenen Feldern variirt der Durchmesser von 0,230 bis 0,209 Millimeter, was also eine Differenz von etwa $^1/_{10}$ giebt.

Im nämlichen Jahre mit Brander's Schriftchen erschien auch die Beschreibung des Mikroskops vom Duc de Chaulnes. Dieser brachte noch feinere Theilungen zu Stande, nämlich 240 auf einen Zoll, jedoch nicht auf Glas, sondern auf Messing.

Nachdem die Glasmikrometer schon fast allgemein bekannt waren, fuhren gleichwohl Einzelne noch mit der Benutzung von Netzmikrometern fort, wahrscheinlich aus dem Grunde, weil Metallfäden oder Haare weit deutlicher wahrgenommen werden können, als die mit dem Diamanten auf Glas gezogenen Linien. Bei Baker (*Employment for the Microscope* 1753) ist ein Silberdrahtmikrometer beschrieben mit viereckigen Maschen von $^1/_{50}$ Zoll, dessen Silberdraht nur $^1/_{700}$ Zoll dick war. Er war von Folkes verfertigt. Baker selbst benutzte ein aus Kopfhaaren gemachtes Mikrometer. Hollmann (*Philos. Transact.* 1745, p. 246) benutzte zu gleichem Zwecke die Maschen eines Stückchens Seidenzeug, das ins Ocular eingesetzt wurde.

Statt der Glastheilungen nahm man auch Mikrometer von Elfenbein oder von Horn, stand aber doch bald wieder davon ab, weil diese Substanzen sich je nach dem Feuchtigkeitsgrade der Luft ausdehnen oder zusammenziehen.

Von Cavallo (*Philos. Transact.* 1791) war dazu ein Perlmuttertäfelchen empfohlen, so dünn, dass es durchsichtig ist, worauf sich mit grösserer Leichtigkeit als auf Glas sehr scharfe feine Linien ziehen lassen. Man machte nun bald Perlmuttermikrometer, an denen die Interstitien nur $^1/_{200}$ Zoll maassen (Adams, *Essays*, p. 60).

In Folge der Verbesserung der Theilmaschinen wurde es aber möglich, noch viel feinere Theilungen auszuführen, und bereits am Ende des 18. Jahrhunderts gelang es Coventry (*Encyclopaedia Britannica*, Ed. 6, p. 805), Glasmikrometer herzustellen mit Theilungen bis zu $^1/_{10000}$ engl. Zoll oder etwa $^1/_{400}$ Millimeter.

Später zeichneten sich in England Barton, Ramsden und Dollond durch die Verfertigung sehr feiner Glasmikrometer aus; in Deutschland aber machte sich Frauenhofer in München durch die höchst feinen Theilungen auf Glas berühmt, deren er zu seinen Untersuchungen über die Lichtbeugung bedurfte. Sein Instrument war so eingerichtet, dass 32,000 Striche auf einen Pariser Zoll damit gezogen werden konnten. Solche ungemein feine Theilungen scheint er jedoch nicht zur wirklichen Ausführung gebracht zu haben; in dem feinsten Netze, dessen er sich bei seinen Versuchen bediente, betrug der gegenseitige Abstand der Striche 0,0001223 Zoll, d. h. etwa $^1/_{300}$ Millimeter (Gilbert's Annalen, 1823, XIV, S. 347). — Uebrigens verfertigte auch damals Hoffmann in Leipzig Glasmikrometer, deren feinste Theilungen bis $^1/_{3000}$ Zoll gingen (Gilbert's Annalen XIV, S. 440).

In noch späterer Zeit sind diese feinen Theilungen aber noch bedeutend weiter getrieben worden. Zuerst fertigte Lebaillif in Paris Glasmikrometer, auf denen der Millimeter in 500 Theile getheilt war (Chevalier l. c. p. 83), und hierin folgten ihm Chevalier, Oberhäuser und Andere weiterhin nach. Niemand hat es indessen hierin weiter gebracht, als Nobert, von dessen Probetäfelchen schon zu wiederholten Malen die Rede gewesen ist, und die ohne Zweifel zu den merkwürdigsten Erzeugnissen unserer jetzigen Mechanik zählen.

Nobert hat übrigens successiv Probetäfelchen geliefert, die durch die Anzahl der Liniengruppen nicht nur, sondern auch durch den Abstand der Linien in den gleichnamigen Gruppen von einander differiren. Die genaue Prüfung eines Täfelchens aus seiner ersten Zeit mit einem Ocularschraubenmikrometer, an dessen Zeigerblatte jede Theilung bei der benuzten Vergrösserung 0,000051 Millim. entspricht, lehrte Folgendes:

Die zu zehn Gruppen vereinigten Linien haben zusammen etwa 4 Linien Länge; die Gruppen selbst und die sie trennenden freien Zwischenräume sind einander ziemlich gleich. Misst man die Breite der Gruppen an dem einen und an dem andern Ende, so ergiebt sich eine kleine Differenz, die davon herrührt, dass Nobert zur Herstellung dieser Probetäfelchen eine Kreistheilmaschine verwendet. So hat die erste Gruppe am breitern Ende 0,0199 Millim. Durchmesser, am schmalern 0,0196 Millim. Diese geringe Differenz von 0,0003 Millim. hat zwar so gut wie keinen Einfluss, da sie sich auf alle Strichelchen einer Gruppe vertheilt; man ersieht aber doch, dass es am sichersten ist, wenn man bei einer vergleichenden Prüfung von Mikroskopen immer einen bestimm-

ten Theil in Anwendung zieht, etwa die Mitte der Gruppen. Bei den fünf ersten Gruppen fanden sich nun an diesem Mitteltheile:

Nr. 1,	0,01975 Mm. breit,	enthält	10 Linien	oder	9	Interstitien.
„ 2,	0,01941 „ „	„	11 „	„	10	„
„ 3,	0,01958 „ „	„	13 „	„	12	„
„ 4,	0,01846 „ „	„	14 „	„	13	„
„ 5,	0,01831 „ „	„	16 „	„	15	„

Bei den folgenden Gruppen vermochte ich die Striche nicht mehr mit der Zuverlässigkeit zu zählen, die hierbei erforderlich ist.

Berechnet man nun die Breite der Gruppen aus den von Nobert selbst angegebenen Abständen, so bekommt man:

		Differenz.
Nr. 1,	0,02030 Mm. . . .	+ 0,00055 Mm.
„ 2,	0,01937 „ . . .	— 0,00004 „
„ 3,	0,01993 „ . . .	+ 0,00025 „
„ 4,	0,01851 „ . . .	+ 0,00005 „
„ 5,	0,01831 „ . . .	0 „

Es besteht somit eine kleine Differenz zwischen meinen Resultaten und Nobert's Angaben, die ich nicht zu erklären im Stande bin, da sie bald eine positive, bald eine negative ist. Jedenfalls ist aber diese Differenz, abgesehen von der ersten Gruppe, wo sie $^1/_{2000}$ Millimeter beträgt, eine ganz unbedeutende.

In der folgenden Tabelle habe ich in den beiden ersten Columnen nach Nobert angegeben, welche Abstände die Linien in den Gruppen haben, wobei ich nur die Pariser Linie aufs Millimeter reducirte; die beiden anderen Gruppen enthalten die Zahlen, die ich aus meinen Messungen an den fünf ersten Gruppen ableite.

		Linien auf 1 Millim.		Linien auf 1 Millim.
Nr. 1,	0,002256 Mm. . .	443 . .	0,002193 Mm. . .	456
„ 2,	0,001937 „ . .	516 . .	0,001941 „ . .	515
„ 3,	0,001661 „ . .	602 . .	0,001632 „ . .	613
„ 4,	0,001424 „ . .	702 . .	0,001420 „ . .	704
„ 5,	0,001221 „ . .	819 . .	0,001221 „ . .	819
„ 6,	0,001046 „ . .	956		
„ 7,	0,000897 „ . .	1115		
„ 8,	0,000768 „ . .	1302		
„ 9,	0,000660 „ . .	1515		
„ 10,	0,000509 „ . .	1964		

Man ersieht aus dieser Tabelle, dass bei den ersten Gruppen die Abstände der Linien ganz regelmässig abnehmen; nur zwischen der neunten und zehnten Gruppe ist die Differenz auffallend grösser. Nobert scheint das selbst eingesehen zu haben, und hat Gelegenheit genommen, noch stärkere

Beweise seiner Kunstfertigkeit in der Darstellung feiner Theilungen auf Glas zu geben. Anfangs 1849 (Schuhmacher's Astronomische Nachrichten, 1849, Ergänzungsheft S. 39) verfertigte er Probetäfelchen mit 12 Gruppen von Linien, und am Ende dieses Jahres solche mit 15 Gruppen, ja 1852 stieg er bis zu 20 Gruppen. Dabei lieferte er aber immer auch noch Täfelchen mit 10 und mit 15 Gruppen.

Warren de la Rue (*American Journ.* 1850 p. 27) hat zuerst eins von den neueren Probetäfelchen beschrieben, worauf 15 Liniengruppen gezogen waren, und auf 1 Millimeter gefunden:

Nr. 1,	443	Linien.	Nr. 9,	1478	Linien.
„ 2,	514	„	„ 10,	1612	„
„ 3,	607	„	„ 11,	1692	„
„ 4,	715	„	„ 12,	1772	„
„ 5,	806	„	„ 13,	1875	„
„ 6,	924	„	„ 14,	1969	„
„ 7,	1108	„	„ 15,	2216	„
„ 8,	1267	„			

Bei einem Vergleiche mit der vorigen Tabelle sieht man, dass die gleichnamigen Gruppen auf den älteren und neueren Nobert'schen Probetäfelchen keineswegs gleich sind, was wohl im Auge zu behalten ist, wenn man mittelst derselben irgend ein Mikroskop prüfen will. Bei den neun ersten Gruppen zeigt sich nur ein mässiger Unterschied. Dagegen entspricht die zehnte Gruppe der älteren Täfelchen ungefähr der vierzehnten Gruppe auf den neueren, deren funfzehnte schon feiner getheilt ist*).

Nobert hat aber gezeigt, dass die Kunst damit noch nicht an der äussersten Grenze angekommen ist. Ausser diesen 15 Gruppen hat er auf dem nämlichen Täfelchen noch eine gesondert stehende Gruppe von Linien

*) Bald nach Warren de la Rue berichtete auch Unger (Poggend. Annal. 1850. Bd. 79, S. 32) über seine Untersuchung eines solchen Probetäfelchens; er hatte ganz andere Resultate erhalten, sowohl was die Zahl der Linien in jeder Gruppe als deren wechselseitige Abstände betrifft. Allein diese Angaben sind offenbar unrichtig, wie man schon aus seiner Berechnung der Abstände in der ersten Gruppe ersieht. Nach Unger hat jede Gruppe 0,0005 Par. Zoll (0,013535 Millimeter) Breite, und die erste Gruppe soll 7 Linien enthalten. Hieraus berechnet er einen Abstand der Linien von 0,0008 Linie oder $^1/_{553}$ Millimeter, vergisst aber dabei, dass die Zahl der Interstitien in jeder Gruppe jener der Linien immer um Eins nachsteht. Behält man das im Auge, so findet man als Abstand der Linien genau 0,001 Linie oder $^1/_{443}$ Millimeter, d. h. die nämliche Zahl, wie bei dem von Warren de la Rue beschriebenen Probetäfelchen. Auch in der Anzahl der Linien jeder Gruppe scheint sich Unger geirrt zu haben. Nach ihm soll die funfzehnte Gruppe 21 Linien enthalten, welche Zahl indessen nach Nobert selbst (Poggend. Annal. 1852, Bd. 85, S. 92) schon auf die zehnte Gruppe trifft. Das wurde auch neulich durch George Hunt (*Quart. Journ.* 1857, XX, p. 233) bestätigt, der mit der Camera lucida bei einer Vergrösserung von 1700

gezogen, deren Abstand nur $^1/_{4433}$ Millim. beträgt, also halb so viel als in der 15. Gruppe, und ausserdem noch ein Paar andere Gruppen, wo die kleinen Linien einander unter Winkeln von 90° und 120° kreuzen. Auf den Probetäfelchen mit 20 Gruppen beträgt der Linearabstand in der 20. Gruppe $^1/_{6000}$ Linie oder $^1/_{2664}$ Millimeter.

Ein Nobert'sches Probetäfelchen mit 10 Gruppen kostet 5 Thaler, ein solches mit 15 Gruppen 10 Thaler.

Ganz neuerdings hat Nobert sogar Probetäfelchen mit 30 Gruppen hergestellt. Sie kosten 30 Thaler. Ich erhielt ein solches Täfelchen von Nobert, worauf folgende Abstände der Linien in den Gruppen angegeben sind, denen ich noch die Anzahl der Linien beifüge, die auf Ein Millimeter kommen:

1.	Gruppe	0,001000	Par.	Lin.	=	443
5.	„	0,000550	„	„	=	806
10.	„	0,000275	„	„	=	1612
15.	„	0,000200	„	„	=	2215
20.	„	0,000167	„	„	=	2653
25.	„	0,000143	„	„	=	3098
30.	„	0,000125	„	„	=	3544

Wie schwer solche feine Theilungen sind, das kann ich wohl nicht besser darthun, als durch das Zeugniss Frauenhofer's (Gilbert's Annalen, Bd. 15, S. 348), der erzählt, es sei ihm noch nicht gelungen, Linien auf Glas zu bringen, deren 32,000 auf den Pariser Zoll (also 1171 auf den Millimeter) gehn, und dann hinzufügt: „und es möchte auch für Menschenhände, welcher Maschine man sich auch bedienen mag, nicht wohl möglich sein.“ Nobert's Probetäfelchen kommen den Zeichnungen der allerschwierigsten Probeobjecte (S. 289) an Feinheit fast gleich, und er hat allen denen einen grossen Dienst geleistet, die das Unterscheidungsvermögen ihres Mikroskops genau prüfen wollen. Gleichwohl muss ich das schon früher Gesagte wiederholen, dass man mit zwei solchen Probetäfelchen nicht immer vollkommen vergleichbare Resultate erhält, weil die Sichtbarkeit und Unterscheidbarkeit der feinen Linien von der Härte oder Sprödigkeit des Glases, von der Druckstärke der Diamantspitze und anderen Umständen abhängen, die zum Theil wohl, aber niemals vollständig in der Macht des Verfertigers liegen. Nur so kann ich

---

bis 2000 Mal die Linien gezählt hat, welche in den ersten dreizehn Gruppen auf $^1/_{1000}$ engl. Zoll kommen, und ebenso auch die Anzahl der Linien in jeder Gruppe. Seine Zahlen für die Abstände differiren wirklich so wenig von jenen bei Warren de la Rue, dass man beide Probetäfelchen in Betreff der Linearabstände in den gleichnamigen Gruppen fast als gleich ansehen kann. Nur in der elften Gruppe zeigt sich eine Verschiedenheit, die ich mir so erklären muss, dass Hunt beim Zählen zufällig diese Gruppe übersehen hat, was ja bei einer solchen schweren Untersuchung ganz leicht geschehen kann.

es mir z. B. erklären, dass ich durch das nämliche Mikroskop, womit ich in der zehnten Gruppe bei einem der ersten Probetäfelchen keine Spur von Linien zu erkennen vermochte, gleichwohl bei einem Täfelchen mit 20 Gruppen aus späterer Zeit ganz bequem die funfzehnte Gruppe unterschied, und selbst noch bei der siebzehnten mit einiger Mühe die Linien erkannte, ungeachtet die Linien in diesen beiden einander weit mehr genährt sind.

Bis jetzt ist Nobert der einzige, der solche feine Theilungen auf Glas liefert, und wenn es auch bekannt ist, dass er dazu eine Kreistheilmaschine benutzt, so scheint er doch einen Theil seiner Methode geheim zu halten. Es dürfte deshalb nicht unpassend sein, wenn ich an das oben (S. 576) beschriebene Schreibeinstrument von Peters erinnere. Mit einer derartigen Einrichtung werden sich wahrscheinlich gleich feine Theilungen auf Glas machen lassen; doch ist mir bis jetzt noch nichts darüber bekannt.

Schon früher (S. 505) habe ich erwähnt, dass bei allen Mikrome- 502
tern Unterschiede zwischen dem wahren und dem scheinbaren Werthe der Abstände vorkommen, die oftmals gar nicht unbedeutend sind. Die Bestimmung, welche die Glasmikrometer haben, verlangt es aber ganz besonders, dass die Abtheilungen unter einander übereinstimmen, und in dieser Hinsicht stösst man bei jenen, die aus den Werkstätten der meisten Optiker hervorgehen, oftmals auf grosse Ungleichheiten, zum Beweise, dass ihre Theilinstrumente sehr unvollkommen sind, oder dass die Theilung nicht mit der nöthigen Sorgfalt und Genauigkeit ausgeführt wurde. Ueber den verhältnissmässigen Grad von Genauigkeit bei einigen Mikrometern, die zu verschiedenen Zeiten aus verschiedenen Werkstätten hervorgegangen sind, giebt folgende kleine Tabelle Aufschluss. Alle Theilungen darin sind auf Glas, nur die Barton'sche ist auf Messing:

Verfertiger.	Nomineller Werth der Theilungen.	Wirklicher Werth in Millimetern.	Maximum der Differenz.
Brander	$^1/_{10}$ engl. Linie	0,2109	0,0210^{mm} = $^1/_{10}$
Ramsden	$^1/_{500}$ » Zoll	0,0469	0,0032^{mm} = $^1/_{16}$
Barton	$^1/_{2000}$ » »	0,0128	0,0012 = $^1/_{10}$
Dollond	$^1/_{500}$ » »	0,0498	0,0070 = $^1/_7$
Chevalier	$^1/_{20}$ Millim.	0,0484	0,0019 = $^1/_{25}$
Oberhäuser	$^1/_{20}$ »	0,0480	0,0019 = $^1/_{25}$

Man ersieht hieraus, dass seit Brander bedeutende Fortschritte gemacht worden sind. Die Fehler indessen, die bei allen diesen Mikrome-

tern vorkommen, sind in Wirklichkeit noch viel zu gross, und bei denen aus der neuern Zeit rühren sie wahrscheinlich grösstentheils davon her, dass bei der Bearbeitung nicht hinlängliche Sorgfalt angewandt wurde. Dass es möglich ist, einen höhern Grad von Genauigkeit zu erreichen, ersieht man nicht blos aus der feineren Theilung auf den eben beschriebenen Nobert'schen Probetäfelchen, sondern auch daraus, dass Mohl (Mikrographie, S. 293) bei drei Messungen (was freilich eigentlich zu wenig ist) eines in $^1/_{50}$ Linien getheilten Glasmikrometers von Merz in München nur $^1/_{5555}$ Millim. Differenz fand, was noch nicht $^1/_{500}$ der gemessenen Grösse ist.

Ich muss hier noch erwähnen, dass Welcker (Polytechn. Journ. Bd. 130, S. 267) auch ein Glasmikrometer verfertigt hat, welches zum Abzählen von Objecten im Gesichtsfelde bestimmt ist. Es ist ein Täfelchen von $1^1/_2$ Zoll Länge und 1 Zoll Breite mit 31 Querstrichen, die 0,23 Par. Linien von einander abstehen, und senkrecht von 241 anderen Strichen durchkreuzt werden. Das Mikrometer ist dadurch in längliche Vierecke getheilt, die er den vierseitigen Feldern vorzieht. Ganz zweckmässig ist seine Idee, zur Erleichterung des Zählens eine solche Eintheilung durch Zeichen, die sich leicht mit dem Diamanten machen lassen, zu numeriren. Es sind nämlich Striche von zweierlei Länge und von zweierlei Abständen, nämlich: | (1), || (2), ||| (3), |||| (4), || (5), ||||| (8), | (10), |||| (16), || (20), ||| (30) u. s. w.

Ferner hat Hodgson (*Quart. Journ.* 1856. XV, p. 240) einen Gedanken ausgesprochen, der vielleicht dahin führen kann, dass man wohlfeilere Mikrometer bekommt, als Musterersatz für die Glasmikrometer. Er machte nämlich Collodiummikrometer und zwar auf doppelte Weise. Erstens nämlich brachte er auf ein Glasmikrometer eine dünne Schicht Collodium, das sich nach Verdunstung des Aethers leicht abheben lässt; so erhielt er gleichsam einen Abguss der Mikrometertheilungen, der sich wie ein gewöhnliches Object zwischen zwei Glastäfelchen bringen liess*). Zweitens benutzte er auch die Photographie, um sich in sehr verkleinertem Maassstabe die Abbildung einer Theilung zu verschaffen. Bedenkt man, dass photographische Abbildungen auf Collodium mit so grosser Schärfe sich herstellen lassen, dass sie eine recht ansehnliche Vergrösserung vertragen, so begreift man wohl, dass auf diesem Wege mikrome-

*) Ich muss übrigens bemerken, dass Gorham (*Quart. Journ.* 1853, II, p. 84) bereits drei Jahre früher das Collodium benutzt hat, um dergleichen Abgüsse von verschiedenen mikroskopischen Gegenständen zu bekommen Er benutzte dazu ein mit rothem Sandelholz schwach gefärbtes Collodium, welches mit einem Pinsel vier- bis fünfmal aufgestrichen wurde. Beim Untersuchen der Mineralien, der Schalen, der Polypenstöcke, der Pflanzenepidermis, der Bedeckungen der Gliederthiere, der Hornhaut ihrer Augen u. s. w. kann dieses Hülfsmittel allerdings ganz gute Dienste leisten.

trische Theilungen zu bekommen sind, welche die mit einem Theilinstrumente erhaltenen recht wohl ersetzen und als Ocularmikrometer gebraucht werden können.

Zum Schlusse gebe ich noch eine Uebersicht, zu welchen Preisen man Glasmikrometer bekommen kann.

Oberhäuser hat das Millimeter in 100 und in 500 Theile getheilt, und sie kosten bei ihm 20 Francs. Bei Nachet kostet ein Glasmikrometer mit Theilung in $^1/_{100}$ Millimeter 8 Francs.

Bei Plössl ist die Wiener Linie in 20 bis 200 Theile getheilt und das Stück kostet 3 bis 6 Thaler. Ist das Millimeter in 100 Theile getheilt, dann kostet das Stück 8 Thaler.

Pistor und Martins haben den Pariser Zoll in 250 bis 1000 Theile getheilt; der Preis ist 2 bis 4 Thaler.

Die Pritchard'schen Mikrometer, mit der Eintheilung des englischen Zolls in 50 bis 5000 Theile, kosten 4 bis 10 Schilling.

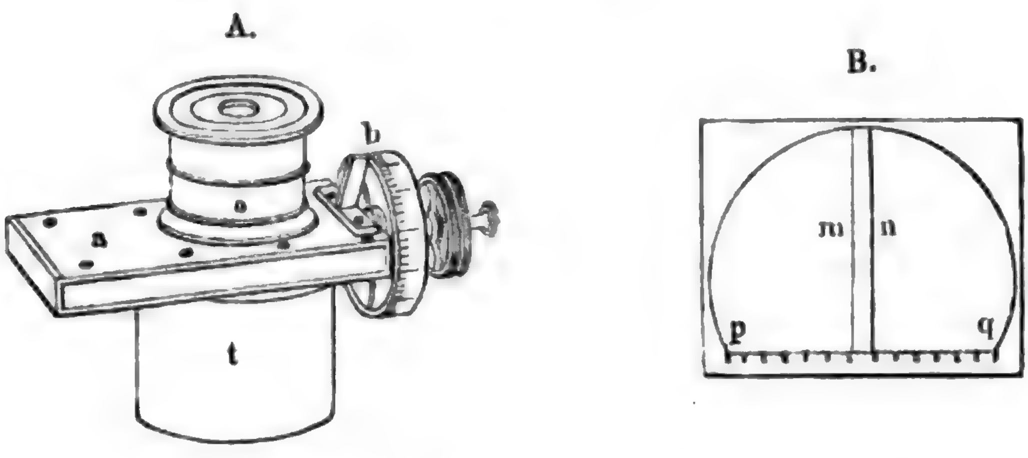
Die von Martin, Adams und Brander verfertigten Nadelmikrometer im Oculare wurden nach einiger Zeit wiederum durch andere Schraubenmikrometer ersetzt. Der Duc de Chaulnes stellte nämlich 1767 ein Mikroskop her, das ausdrücklich dazu bestimmt war, Messungen damit vorzunehmen. Das Stativ desselben war auf ein Tischchen befestigt, das auf vier Füssen ruhte. Die Messungen wurden mittelst zweierlei Schraubenmikrometer bewirkt. Neben dem astronomischen Ocularmikrometer mit zwei Fäden, von denen der eine fest ist, der andere aber durch eine Schraube bewegt wird, kam noch am Objecttische ein Mikrometer mit zwei Schrauben vor, wodurch das Object im Gesichtsfelde in zwei Richtungen bewegt werden konnte. Mittelst dieser Einrichtung vermochte der Duc de Chaulnes den Durchmesser der Objecte bis auf $^1/_{1500}$ Linie zu bestimmen, also fast doppelt so genau, wie mittelst der früheren Nadelmikrometer. 503

Diesen Versuch, das Object durch Schrauben zu bewegen, ahmte dann Martin nach; wahrscheinlich hat er dieses Schraubenmikrometer in der mir unbekannt gebliebenen Schrift beschrieben: *Microscopium pantometricum, or a new construction of a Micrometer adapted to the Microscope*, 1776. Zu seinen späteren zusammengesetzten Mikroskopen gehört ein besonderes mit zwei Schrauben versehenes Mikrometer; dasselbe besteht aus einem vierseitigen Messingrahmen, worin sich ein zweiter durch zwei Schrauben, die rechtwinkelig gegen einander stehen, hin- und herbewegen lässt. Dieses Schraubenmikrometer kann man am Objecttische befestigen und wieder wegnehmen, ganz so, wie gegenwärtig bei Plössl und bei Anderen. Bei der Untersuchung eines solchen Martin'schen Schraubenmikrometers habe ich gefunden, dass eine ganze Schraubenumdrehung 0,5019 Millim. gleich ist, und da das Zeigerblatt 20 Abtheilungen hat, so ist die einzelne Abtheilung = 0,0251 Millimeter oder 0,00099 engl. Zoll.

Auch das Ocularschraubenmikrometer mit beweglichem Faden kam mehr in Gebrauch. Ramsden führte es beim Mikroskope ein, als der Generalmajor Roy im Jahre 1783 (*Philos. Transact.* p. 641) sehr genaue Messungen auszuführen hatte, wobei es darauf ankam, genau zu bestimmen, wie die Stäbe, deren er sich bediente, durch die Wärme ausgedehnt wurden. Dazu erfand Ramsden ein Pyrometer mit der Einrichtung, dass die Ausdehnung der Stäbe durch zwei an den Enden angebrachte Mikroskope gemessen wurde. Als dann Roy einige Jahre später durch trigonometrische Messungen den Abstand der Meridiane von Greenwich und Paris bestimmte, lieferte ihm Ramsden ein Instrument zu Winkelmessungen, wozu auch zwei mit solchen Mikrometern versehene Mikroskope gehörten, um die nöthigen Ablesungen mit grosser Genauigkeit bewirken zu können (*Philos. Transact.* 1790, p. 111). Ferner benutzte auch Edward Troughton (*Philos. Transact.* 1809, p. 105) dergleichen Mikrometer für seine Theilmaschine.

Das Ramsden'sche Ocularschraubenmikrometer ist Fig. 386 dargestellt. Es besteht aus einer abgeplatteten, länglich vierseitigen Röhre *a*

Fig. 386.



Ramsden's Ocularschraubenmikrometer.

mit zwei Spinnwebfäden *m* und *n* im Innern: der eine dieser Fäden ist fest, der andere wird durch eine Schraube bewegt, die mit einem getheilten Zeigerblatte *b* versehen ist. Ueber jener vierseitigen Röhre befindet sich die kurze Röhre *o* mit einem positiven Oculare, welches so gestellt werden kann, dass man die beiden Spinnewebfäden und zugleich auch jenes durchs Objectiv hervorgebrachte Bild deutlich sieht. Um die Anzahl der vollständigen Umdrehungen der Schraube zu kennen, geht, wie man bei *B* sieht, ein sägeförmig gezahnter Streifen *pq* durchs Gesichtsfeld: jedes Zähnchen entspricht einer vollständigen Schraubenwindung, und je fünf Zähne sind wieder durch eine tiefere Einkerbung angedeutet. Das untere Rohr *t* hat nun die Bestimmung, das Mikrometer in das Mikroskoprohr zu schieben.

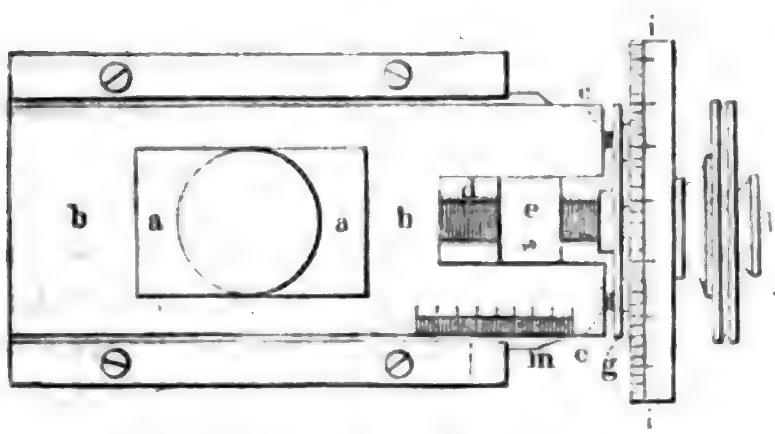
Dass diese Art von Schraubenmikrometer bei weitem das genaueste Instrument ist, das wir besitzen, ist schon oben (S. 513) dargethan

worden. Nur darf nicht vergessen werden, dass mit seinem Gebrauche, wie mit allen Ocularmikrometern, ein Uebelstand verbunden ist, insofern nämlich die damit erhaltenen Werthe keine absoluten sind, sondern nur eine relative Bedeutung haben, man daher immer genöthigt ist, diese für jedes Objectiv und für jede Rohrlänge zu bestimmen. Daher kommt es auch, dass man auf dem Continente mehr und mehr dem Objecttischschraubenmikrometer den Vorzug gegeben hat, namentlich nach Fraunhofer's Vorgange, der seine grösseren Mikroskope damit versah. Nur in England wird das Ocularschraubenmikrometer noch immer viel benutzt.

Ein solches Schraubenmikrometer ist Fig. 387 abgebildet. Es besteht aus zwei Platten, von denen die untere *aa* auf dem Objecttische befestigt wird, während die obere *bb* mittelst einer Schraube sich darauf verschieben kann. Die untere Platte hat eine runde Oeffnung, und zur Seite zeigt sie zwei schwalbenschwanzförmige Leisten, um die Ränder der oberen beweglichen Platte aufzunehmen, die ihrerseits eine länglich-viereckige Oeffnung besitzt. Die feine Schraube *d* läuft in einer Mutter *e*, die mit der unteren Platte verbunden ist; wird dieselbe gedreht, so drückt ihr Ende gegen die bewegliche Platte *bb* und diese wird fortgeschoben; zurückgezogen aber wird dieselbe durch die federnde Platte *g*, welche durch die beiden Schräubchen *cc* mit der obern Platte verbunden ist. Die Zeigerplatte, an deren Rande eine Theilung *ii* angebracht ist, steht nicht in fester Verbindung mit der Schraube, sondern lässt sich durch Umdrehen der Mutter *l* lösen. So kann ihr Nullpunkt in Uebereinstimmung gebracht werden mit der Theilung auf der Scala *m*, wodurch die vollständigen Umdrehungen angegeben werden. Ausserdem ist aber noch ein Nonius da, der aber nicht mit abgebildet ist, damit auch die Bruchtheile auf den Theilungen des Zeigerblattes abgelesen werden können.

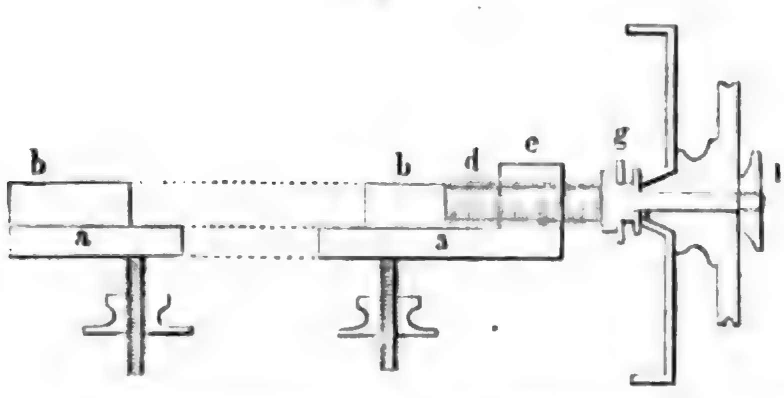
Fig. 387.

A.



Schraubenmikrometer von oben gesehen.

B.



Schraubenmikrometer im Durchschnitt.

Ziemlich die nämliche Construction haben die späteren Schraubenmikrometer von Plössl, von Schiek und Anderen, nur finden sich bei diesen stärkere Spiralfedern, wodurch der todte Gang der Schraube bei diesen Instrumenten ganz wegfällt.

Die Theilung der Schraubenmikrometer variirt natürlich bei den verschiedenen Optikern. Die Einheiten am Plössl'schen Schraubenmikrometer geben unmittelbar $^1/_{10000}$ Wiener Zoll an, und mit Hülfe des Nonius sogar $^1/_{100000}$ Zoll. Bei Pistor und Martins werden die nämlichen Werthe nach dem Pariser Zoll angegeben. Schiek's Schraubenmikrometer geben Tausendtheile und Zehntausendtheile der Pariser Linie an, ebenso jene von Nobert.

Die französischen Optiker haben immer den Millimeter als Maasseinheit. Bei dem oben beschriebenen Brunner'schen Mikroskope (S. 713) ist jeder Theil an der Zeigerplatte = $^1/_{1000}$ Millimeter, und ein Nonius giebt noch Zehntausendstel an.

Dass man jedoch mit solchen Objecttischschraubenmikrometern nicht so genau messen kann, als jene feinen Theilungen offenbar vermuthen lassen, das ist schon früher (S. 513) dargethan worden.

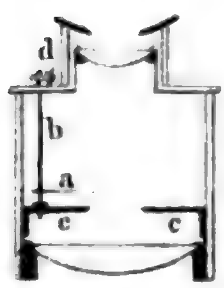
Da die Herstellung der Schraubenmikrometer grosse Sorgfalt und viel Zeit verlangt, so gehören diese Instrumente natürlicher Weise auch zu den theureren. Sie kosten bei Plössl 40 Gulden C.-M., bei Schiek 30 Thaler. Das Objecttischschraubenmikrometer kostet bei Pistor und Martins gleichviel wie bei Schiek; sie liefern aber auch Ocularschraubenmikrometer für 35 Thaler. Bei Ross kostet ein solches Instrument 5 Pf. 5 Schillinge.

Es sind nun noch die verschiedenartigen Fäden zu nennen, deren man sich nach einander zu verschiedenen mikrometrischen Zwecken bedient hat. Ich habe bereits (S. 880) angeführt, dass man zuerst Pferdehaare, Menschenhaare, Silber- oder Seidenfäden dazu nahm. Zu genauen Messungen waren diese alle viel zu dick und zu grob. Es wurden deshalb 1775 von Felix Fontana (*Saggio del real gabinetto di fisica e di storia naturale di Firenze.* Rom 1775) Spinnewebfäden empfohlen; allein erst durch Edward Troughton fanden sie die erste Anwendung in teleskopischen Instrumenten (Brewster, *New Instruments*, p. 75). Da es aber so ungemein schwer ist, diese höchst feinen Fäden am gehörigen Platze zu befestigen, so ist man später auf andere Mittel zu ihrem Ersatze bedacht gewesen. So empfahl Brewster (*New Instruments*, p. 77) 1813 feine Glasfäden, die sich aber nur schwer so fein spinnen lassen, dass sie einem Spinnewebsfaden von $^1/_{500}$ Millimeter oder selbst noch weniger gleichkommen. Goring (*Micrographia*, p. 47) will Fäden aus in Terpentin gelöstem Cautschuk sehr brauchbar gefunden haben. Vor Kurzem hat auch Welcker (Aufbewahrung mikroskopischer Objecte u. s. w., S. 31) Canadabalsam für diesen Zweck empfohlen; er bringt nämlich ein Tröpfchen davon auf zwei Punkte des Diaphragmarandes, zwischen denen der Faden gezogen werden soll, steckt einen Stecknadelknopf in

eins der Tröpfchen, und zieht nun von einem Rande aus zum andern ein Fädchen. Wenn auch solche temporäre Hülfsmittel gute Dienste leisten können, so ist es doch weit besser, man benutzt Platindraht, den Wollaston in so grosser Feinheit verfertigen lehrte, und wirklich benutzt diesen auch Schiek in seinen Mikroskopen.

Ich will auch noch anführen, dass Mohl (*Linnaea* 1842, S. 502) vorschlug, die Fäden durch die feine Spitze einer Nadel zu ersetzen. Quekett (l. l. p. 130) hat wirklich eine Nadel ins Ocular bringen lassen, wie in Fig. 388, aber freilich zu einem ganz andern Zwecke, nämlich um als Indicator zu dienen. Die Nadel *a* ist nämlich an der kleinen Stange *b* befestigt, die sich auf dem Oculardiaphragma *cc* herumdreht, und oben einen kleinen Handgriff *d* hat, womit die Nadel nach verschiedenen Punkten des Gesichtsfeldes gedreht werden kann. Es empfiehlt sich diese Einrichtung zu mikroskopischen Demonstrationen, wo es darauf ankommt, die Aufmerksamkeit auf einen bestimmten Gegenstand zu lenken.

Fig. 388.



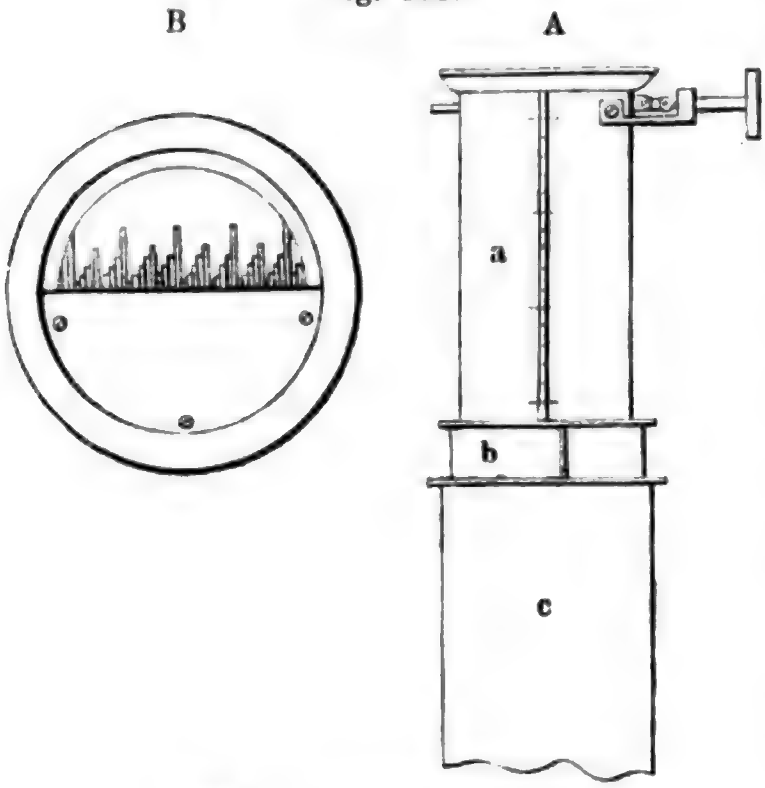
Quekett's Indicator.

Ich komme jetzt auf ein paar mikrometrische Methoden, die zwar 504
nicht in der Weise, wie die bisher genannten, im Gebrauche sind, aber deshalb Erwähnung verdienen, weil ihnen ein vernünftiger Gedanke zu Grunde liegt, so dass sie vielleicht in späterer Zeit für einzelne Fälle in der praktischen Anwendung den Vorzug vor anderen Methoden finden werden.

Hierher gehört zunächst die Einrichtung, welche von Wollaston (*Philos. Transact.* 1813, p. 119) beschrieben wurde und darauf abzweckt, dass, wie beim Doppelsehen das vergrösserte Bild und ein Maassstab gleichzeitig mit den beiden Augen angeschaut werden, so gleichzeitig mit nur Einem Auge das vergrösserte Bild und der getheilte Maassstab beobachtet werden. Seinen Zweck erreichte Wollaston auf die Weise, dass er eine Linse von $^1/_{12}$ Zoll Brennweite und einem ganz geringen Durchmesser benutzte, damit eine kleine Oeffnung, die zur Seite der Linse ins kleine die Linse enthaltende Röhrchen gebohrt war, nur $^1/_{25}$ Zoll vom Mittelpunkte der Linse abstand. Es treten alsdann die Strahlen durch die Linse und durch die Oeffnung gleichzeitig in die Pupille und erzeugen zusammen das Bild auf der Netzhaut. Wollaston benutzte das in Fig. 389 (a. f. S.) abgebildete Instrument. Dasselbe besteht aus drei in einander verschiebbaren Röhren *a*, *b* und *c*. Die erste enthält oben die soeben beschriebene Linse und gleich darunter den Objecttisch. Die dritte oder unterste Röhre enthält die bei *B* abgebildete getheilte Scala aus Stückchen Metalldraht von etwa $^1/_{40}$ Zoll Dicke, die so wie in der Figur an einander gereiht sind, d. h. sie haben ungleiche Länge, und allemal das fünfte und das zehnte Stückchen ragt über die anderen heraus.

Der relative Werth der Abtheilungen dieser Scala variirt natürlich je nach ihrer Entfernung vom Auge. In dem Maasse, als die Scala durch Einschieben der Röhren dem Auge näher kommt, nimmt dieser Werth an Grösse zu, und ist derselbe einmal, indem man ein Object von bekanntem Durchmesser auf den Objecttisch bringt, für verschiedene Röhrenlängen bestimmt, so kann man diese Längen in einer Scala angeben, welche auf die Röhre *a* eingeschnitten wird. Wollaston benutzte als Object einen Golddraht, dessen Durchmesser er aus dem specifischen Gewichte und aus der Länge berechnete, und durch sein Instrument ermittelte er nun, dass bei 16,6 Zoll Abstand zwischen Scala und Linse jede Abtheilung der Scala $^1/_{10000}$ Zoll betrug, also bei 8,3 Zoll Abstand $^1/_{5000}$ Zoll; die dazwischen liegenden Bruchtheile $^1/_{6000}$, $^1/_{7000}$ Zoll u. s. w. wurden durch Abstände von 1,66 Zoll auf der Scala des Rohres ausgedrückt.

Fig. 389.



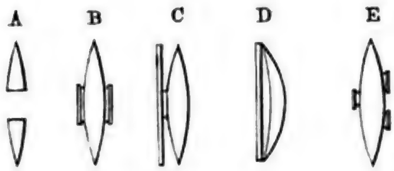
Wollaston's Mikrometer.

Ich brauche wohl nicht näher nachzuweisen, dass diese Methode auf rationeller Basis ruht; wäre sie praktisch ausführbar, dann würde sie gewiss vor vielen anderen den Vorzug verdienen, namentlich beim einfachen Mikroskope, wo die meisten übrigen mikrometrischen Hülfsmittel nicht ausreichen. Leider ist aber Wollaston's Instrument nur sehr wenig brauchbar, wovon sich jeder beim Gebrauche desselben leicht überzeugen kann. Das durch die seitliche Oeffnung einfallende Licht thut bei etwas stärker vergrössernden Linsen der Helligkeit des Objects, dessen Bild sich auf der Netzhaut formt, solchen Eintrag, dass man dieses Object, zumal ein sehr durchsichtiges, kaum noch wahrnimmt, und wenn man schwach vergrössernde Linsen wählt, so können diese nur so klein sein, dass sie ebenfalls nur sehr wenig Lichtstärke besitzen. Jedenfalls müssten die Röhrchen für die Linsen so eingerichtet werden, dass zur Zeit der eigentlichen Beobachtung die Oeffnung durch ein darüber hinzuschiebendes Plättchen bedeckt bleibt und nur im Momente des Messens geöffnet wird. Da nun aber jetzt so viele Methoden zu Gebote stehen, um den Durchmesser der durchs Mikroskop beobachteten Objecte zu bestimmen, und da gegenwärtig das einfache Mikroskop weniger in Gebrauch

ist, so lässt sich nicht wohl erwarten, dass dieses Wollaston'sche Instrument jemals als Mikrometer in praktische Anwendung kommen werde.

Noch viel weniger steht dies von einigen durch Brewster (*New Instruments*, p. 417) vorgeschlagenen Mitteln zu erwarten. Offenbar ging aber Brewster von dem nämlichen Principe aus, wenn er, wie es in Fig. 390 angedeutet ist, die Linsen dergestalt einrichtete, dass man Objecte, die sich in verschiedenen Entfernungen befinden, gleichzeitig dadurch sehen kann. Er empfahl übrigens zunächst eine durchbohrte Linse (*A*), sowie eine Linse, auf deren beide Flächen mit Canadabalsam ein rundes Glasscheibchen geklebt war (*B*). In beiden Fällen würden die durch den mittlern Theil der Linse gesehenen Objecte sich nicht vergrössert darstellen, und der Durchmesser der durch den Randtheil wahrgenommenen Objecte liesse sich daher mit den Theilungen einer durch den centralen Theil gesehenen Scala vergleichen. Ich muss aber bemerken, dass Brewster selbst diese Methode nicht zum Messen von Objecten empfohlen hat, sondern nur für gewisse Fälle, z. B. um die Höhe der Quecksilbersäule im Barometer festzustellen. Die Linsen *C* und *D* sollen dazu dienen, zwei Objecte, die sich nicht in grosser Entfernung von einander befinden, auf Einmal zu sehen, und die Linse *E* ist für Objecte in drei verschiedenen Entfernungen bestimmt.

Fig. 390.



Brewster's Linsen.

Brewster (*New Instruments*. p. 55. 73) beschrieb ferner ein Instrument, das er *Rotatory micrometer with points* nannte. Dieses Mikrometer sollte ebensowohl beim Mikroskope als beim Teleskope Anwendung finden können. Im Wesentlichen besteht es aus zwei sehr zugespitzt zulaufenden Stahlnadeln im Brennpunkte des Oculars, zunächst dem Rande des Gesichtsfeldes. Die eine Nadel ist unbeweglich; die andere dreht sich zusammen mit einem getheilten Kreise. Beim Messen wird die Nadel dergestalt gedreht, dass die Ränder des Bildes zwischen den beiden Spitzen sich befinden, und mittelst eines Nonius wird dann die Grösse des Bogens abgelesen, dessen Sehne dem Durchmesser des Bildes an Grösse gleichkommt. In einer vorher berechneten Tabelle findet man die wahre Grösse.

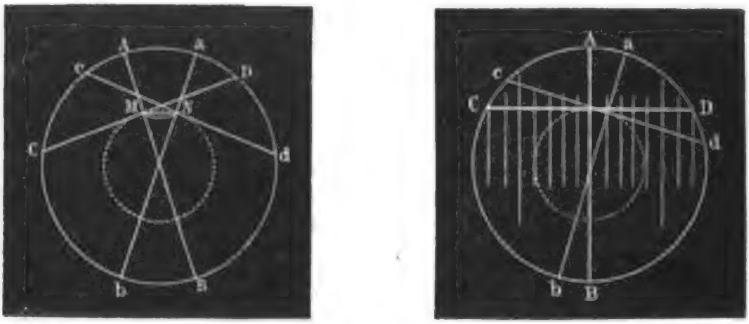
Dieses Mikrometer ist aber in doppelter Beziehung ein unvollkommenes Instrument. Erstens lassen sich nicht leicht sehr feine Messungen damit vornehmen; sodann aber müssen die zu messenden Objecte immer an den Rand des Gesichtsfeldes gebracht werden, wo die Bilder nicht so scharf sind, wie in der Mitte.

Auf dem nämliche Principe beruhend, aber besser, ist das Mikrometer von Welcker (Zeitschr. f. rat. Med. Bd. 10, Hft. 1), welches Fig. 391

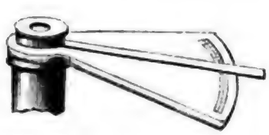
Fig. 391.

Welcker's Mikrometer.

I. II.



III.



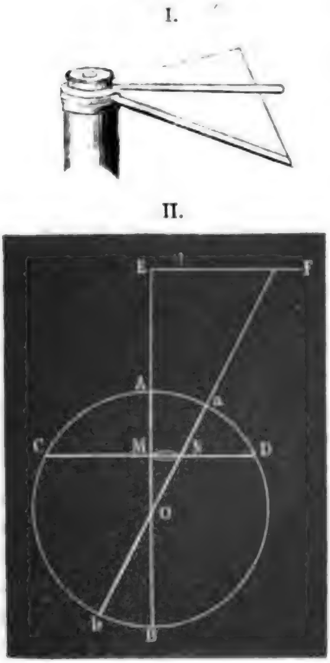
dargestellt ist. Es fehlt hier der feste Punkt, der aber auch füglich entbehrt werden kann, und die bewegliche Spitze wird durch den Kreuzungspunkt zweier Spinnewebfäden *AB* und *CD* ersetzt, die quer über das Diaphragma des Oculars gezogen sind, und die man unter Umständen auch durch Fäden ersetzen kann, welche auf die vorhin erwähnte Weise aus Canadabalsam gebildet werden. Zur Messung des durchlaufenen Winkels dient eine Messingplatte, die die Form eines Kreissectors und eine in Grade getheilte Scala hat. Diese Messingplatte steht mit dem Mikroskoprohre in Verbindung, und ein langer am Ocularrohre befestigter Zeiger bewegt sich über der Theilung, wenn das Ocularrohr umgedreht wird.

Beim Gebrauche dieses Mikrometers muss zuerst, gleichwie bei vielen anderen solchen Instrumenten, der Werth der Scalaabtheilungen gefunden werden, die man mit einem bekannten Maasse vergleicht, etwa mit einem Glasmikrometer, wie es bei II. angegeben ist, wo man die Spinnewebfäden in zwei auf einander folgenden Stellungen *AB* und *CD* und *ab* und *cd* angegeben findet, in die sie kommen, wenn sich der Kreuzungspunkt von dem einen Rande einer Abtheilung zu einem andern fortbewegt. Hat man einmal mit hinreichender Genauigkeit den Bogen kennen gelernt, welcher der Länge der so durchlaufenen Sehne entspricht, dann kann man mit Leichtigkeit die Länge jeder andern Sehne für einen andern Bogen finden, denn die Sehne jedes Bogens ist gleich dem doppelten Sinus des halben Bogens. Durch eine kleine Rechnung lässt sich somit der Durchmesser jedes zu messenden Objects finden, welcher der Sehne des Bogens

entspricht, die hier durch MN ausgedrückt ist, während die punktirte Linie den von M durchlaufenen Bogen bezeichnet.

Wenn das ganze Mikroskop gehörige Festigkeit hat, dass beim Umdrehen des Oculars das Object im Gesichtsfelde durchaus keine Veränderung erleidet, dann lassen sich ohne Zweifel mittelst dieser Methode recht genaue Messungen ausführen. Eine nicht zu übersehende Fehlerquelle liegt indessen darin, dass der Durchmesser des zu messenden Objects immer genau in der Richtung der Sehne des kleinen Bogens liegen muss, und man kein sicheres Merkmal dafür hat, dass sich das Object wirklich in dieser Richtung befindet. Aus diesem Grunde und nicht minder auch wegen der grössern Einfachheit der Rechnung empfiehlt sich jene Modification des Welcker'schen Mikrometers, welche von Hodgson (*Quart. Journ.* 1856. April XV, p. 211) angegeben wurde, und die in Fig. 392 dargestellt ist. Den Kreissector mit der in Grade eingetheilten Scala ersetzt Hodgson durch eine rechtwinkelige Platte, auf der eine Eintheilung angebracht ist, parallel mit der einen den rechten Winkel einschliessenden Seite. Der Zeiger muss so lang sein wie die Hypotenuse. Bei dieser Einrichtung wird nun nicht mehr die Sehne gemessen, sondern die Tangente, und wenn der kleinere Spinnewebfaden den grössern, gerade im Durchmesser liegenden, rechtwinkelig kreuzt, dann bezeichnet der erstere die Richtung der Tangente und somit auch die richtige Stellung des Objects. Kennt man dann die Länge des kleinen Bogens, der durch die Verschiebung des Punktes M gebildet wird, und weiss man, wie dieselbe sich zu der Entfernung vom Mittelpunkte des Gesichtsfeldes bis zu der nächsten Abtheilung der Scala verhält, so erhält man den gesuchten Dnrchmesser durch ein einfaches Regeldetriexempel. In der Figur sei MN das Object, an dessen Rändern der Spinnewebfaden sich successiv in AB und ab befunden hat. Da die Dreiecke EOF und MON einander ähnlich sind, so verhält sich $EO : MO = EF : MN$.

Fig. 392.



Welcker's Mikrometer, von Hodgson verbessert.

Hat man nun erst die wahre Länge von MO gefunden, indem man ein Glasmikrometer als Object benutzt und das Ocular ein halbes Mal umdreht, so dass der Punkt M successiv an zwei Stellen des Durchmessers kommt, was dadurch erkannt wird, dass der Spinnewebfaden CD mit den

Theilungsstrichen parallel ist, dann braucht man nur noch die Länge von *OE* zu wissen, und man findet die Grösse der in der Linie *MD* gelegenen Objecte, die von den Schenkeln des Winkels *EOF* begrenzt werden. Ist *EO* hundert Mal länger als *MO*, dann ist der Durchmesser des Objects gleich $^1/_{100}$ des Maasses, welches durch den Zeiger auf der getheilten Scala angegeben wird. Bei stärkeren Vergrösserungen, wenn *MO* nur ein kleiner Bruchtheil eines Millimeters wird, ist es vielleicht 1000 Mal in *EO* enthalten, ohne dass die rechtwinkelige Platte eine ungewöhnliche Grösse bekommt; es entspricht dann z. B. jeder Millimeter der Scala $^1/_{1000}$ Millimeter des gefundenen Maasses, und noch kleinere Theile lassen sich abschätzen.

Dieses Verhältniss zwischen den Theilen der Linie *MD* und der Scala lässt sich auch auf mehr directem Wege durch die verschiedenen Vergrösserungen bestimmen, indem man nämlich ein Glasmikrometer dergestalt auf den Objecttisch legt, dass sein Bild in die Linie *MD* fällt. Man erforscht dann, welche Abtheilungen der Scala bestimmten Abtheilungen des Mikrometers entsprechen, wenn man das Ocular mit dem Zeiger umdreht. Bei diesem Verfahren setzt man sich auch nicht dem Fehler aus, der aus der möglichen Excentricität des Punktes *O* entstehen kann. Werden nämlich die auf solchem Wege gewonnenen Resultate in einer Tabelle zusammengestellt, so lässt sich diese für alle späteren Messungen benutzen.

505 Von Savery und Bouguer (*Mém. de l'Acad.* 1748) wurde das Doppelbildmikrometer erfunden, welches späterhin durch Dollond (*Philos. Transact.* 1753, p. 167) eine Verbesserung erfuhr. Seine ursprüngliche Bestimmung ging dahin, beim Teleskope benutzt zu werden, und namentlich die sogenannten Heliometer sind damit versehen. Später wurde die nämliche Einrichtung von Young und vom jüngern Dollond auch auf das Mikroskop übertragen, aber meines Wissens bis jetzt nur auf ein kleines Instrument, womit die Dicke von Wollenfäden bestimmt wird, weshalb es Eirometer genannt wird.

Es ist ein gewöhnliches zusammengesetztes Mikroskop. Unmittelbar vor dem Objective befindet sich eine planconvexe Linse, die in der Mitte quer durchschnitten ist und deren Hälften mittelst eines Triebes sich über einander verschieben. So lange die beiden Hälften Eine Linse bilden, hat man von einem davor befindlichen Objecte nur Ein Bild, werden aber durch Umdrehen des Knopfs die beiden Linsenhälften verschoben, so entstehen augenblicklich zwei Bilder, und die Grösse des Objects hat man in dem Augenblicke, wo die Ränder der beiden Bilder gerade mit einander in Berührung kommen. Diese Grösse wird auf einer Scala abgelesen, welche auf einer durch einen Trieb bewegten Platte eingeschnitten ist; Tausendtheile des Zolls sind direct darauf angegeben, und mittelst eines Nonius erkennt man auch noch Zehntausendtheile.

Das zusammengesetzte Mikroskop zum Dollond'schen Eirometer ist nicht achromatisch, und da sich eine planconvexe Linse zwischen dem Objecte und dem Objective befindet, so kann es auch nur mässig vergrössern. Ein von mir untersuchtes derartiges Instrument vergrössert 55 Mal; grosse Genauigkeit ist demnach nicht damit zu erreichen. Das hat sich mir auch durch Vergleichung der auf diesem Wege und durch andere Methoden erhaltenen Resultate, wobei das nämliche Object zehnmal gemessen wurde, bestätigt. Als Object diente aber das erste Mal ein 0,5 Millimeter grosser Abschnitt eines Glasmikrometers, und bei einer zweiten Versuchsreihe ein 0,109 Millimeter dickes Haar.

Object.	Benutzte Vergrösserung.	Grösste Differenz bei den einzelnen Messungen.	Wahrscheinlicher Fehler des gefundenen Mittels.	Wahrscheinlicher Fehler der einzelnen Messung.
1. Glasmikrometer.				
Doppelbildmikrometer . . .	55	1/196 mm	1/2030 mm	1/148 mm
Ocularschraubenmikrometer	68	1/300	1/4950	1/1502
Doppelsehen	46	1/116	1/1410	1/404
2. Haar.				
Doppelbildmikrometer . . .	55	1/181	1/1730	1/559
Ocularschraubenmikrometer	68	1/449	1/6950	1/2150
Doppelsehen	46	1/231	1/4480	1/1400

Wie ungünstig aber auch diese Ergebnisse sind, sie beweisen nichts gegen das zu Grunde liegende Princip, sondern sprechen nur gegen die Methode seiner Anwendung. Soll sich das Doppelbildmikrometer beim Mikroskope fruchtbar erweisen, so muss die Spaltung des Bildes nicht vor, sondern hinter dem Objective stattfinden. Dann erst wird es möglich, aplanatische Linsensysteme mit kurzer Brennweite dabei zu benutzen. Es sind verschiedene derartige Einrichtungen zu astronomischen Messungen erfunden worden, die man bei W. Pearson (*Introduction to practical Astronomy*. Lond. 1829) beschrieben und abgebildet findet. Ramsden (*Philos. Transact.* 1779) verfertigte zuerst ein terrestrisches Ocular, das als Doppelbildmikrometer benutzt wurde; es erfuhr dann von Dollond und besonders von Jones Verbesserungen. Besonders wichtig waren aber die Verbesserungen Airy's (*Greenwich Observations* 1840. *Introd.* p. 65). Das nach seiner Anweisung von Simms in London gefertigte Doppelbildmikrometer ist ein terrestrisches Ocular mit vier Gläsern, von denen das dritte, vom Auge an gerechnet, durchschnitten ist. Insofern stimmt es mit dem frühern Instrumente von Jones überein; doch sind

die Gläser nach Airy's eigner Theorie gearbeitet. Unlängst gab Kaiser (*Natuurkundige Verhandl. d. Kon. Akad.* 1857, VI.) einen ausführlichen Bericht über dieses Airy'sche Mikrometer, und fügte Vorschriften hinzu, wie die aus der Krümmung des Gesichtsfeldes entspringenden Fehler beseitigt werden können, die in der Hauptsache mit dem, was ich früher über andere mikrometrische Methoden angegeben habe, übereinstimmen. Ich kenne dieses Mikrometer nicht selbst, zweifele aber nicht daran, dass es mit der nöthigen Modification in der optischen Zusammensetzung auch beim Mikroskope anwendbar ist, und dass es bei gehöriger Einrichtung für ganz genaue Messungen vielleicht vor anderen den Vorzug verdienen mag, wenn nicht etwa die grössere Zahl der Glasoberflächen auf die Schärfe und die Deutlichkeit des Bildes einen schädlichen Einfluss übt. Sein hoher Preis wird aber wohl einer allgemeinern Benutzung hindernd im Wege stehen; denn das nach Airy's Vorschrift gefertigte Instrument kostet 16 Pfund 16 Schilling.

Das Doppelbildmikrometer von Clausen (Astron. Nachrichten, Nr. 414) lässt sich vielleicht auch gut beim Mikroskope benutzen. Die Spaltung des Bildes wird hier durch eine dicke getheilte Glasplatte mit platten parallelen Oberflächen bewirkt. Die Porro'schen Mikrometer, mit denen unlängst Secchi in Rom erfolgreiche Versuche angestellt hat (*Comptes rendus* XLI, p. 906), scheinen nichts anderes zu sein als solche Clausen'sche Mikrometer.

Man glaube nicht, dass solche zusammengesetzte Instrumente, wenn sie sich auch vor anderen durch grössere Genauigkeit der damit bewirkten Messungen auszeichnen, zur mikroskopischen Untersuchung gleichwohl ganz überflüssig sind und auch überflüssig bleiben werden. Es wird, wenn auch erst nach Jahrhunderten, die Zeit einmal kommen, wo man die ganze Physiologie in mathematischen Formeln abfasst, wie jetzt die Astronomie, und ganz genaue Messinstrumente der verschiedensten Art sind unerlässlich, um diesen Zustand vorzubereiten.

506 Gleich dem Eirometer ist auch der Dickenmesser (*Mensurateur*) von Lebaillif (Chevalier a. a. O. S. 91, Taf. II, Fig. 12) zu technischem Zwecke bestimmt; doch wird damit auf ganz andere Weise gemessen. Eine mikrometrische Theilung auf Glas kommt nämlich als Object unter das Mikroskop, und auf ein darunter liegendes Glastäfelchen ist mit einem Diamanten ein feiner Strich gezogen. Nun misst man, wie die relative Lage des eingetheilten Maasses über diesem Striche differirt, wenn ein dünner Körper, etwa Papier, zwischen das Ende einer Schraube und ein Knöpfchen kommt, welches mit dem Glastäfelchen mit der mikrometrischen Theilung in Verbindung steht.

Zu eigentlichen mikroskopischen Untersuchungen ist indessen ein so eingerichtetes Instrument nur selten zu benutzen, ausser um die Dicke von Deckplättchen zu messen. Dazu aber giebt es noch andere Hülfsmittel, wie wir gleich sehen werden.

Von Goring (*Micrographia*, p. 52) wurde ein mikrometrisches Verfahren angegeben, das in manchen Fällen recht gute Dienste leisten kann. Bei einer 6 Zoll langen und zollbreiten Röhre brachte er ein Perlmutter- oder Haarmikrometer an das eine Ende, und an das andere Ende kam eine für parallele Strahlen verbesserte achromatische Linse von etwa $^1/_2$ Zoll Brennweite und $^1/_4$ Zoll Durchmesser, oder in deren Ermangelung ein achromatisches Objectiv von einem zusammengesetzten Mikroskope, woran die convexe Seite der Linsen nach unten sieht. Wird dieser Apparat unter dem Objecttische des Mikroskops befestigt und mit einem Triebe versehen, wodurch die Linse oder das Linsensystem höher oder tiefer gestellt werden kann, so kann man natürlich das Bild des darunter befindlichen Mikrometers gerade ins Gesichtsfeld fallen lassen, wo dann dieses Bild und das Object zugleich scharf gesehen werden. Natürlich muss der Werth der Abtheilungen in dem Bilde vorher genau bestimmt werden, wenn man ein Object damit messen will, und das geschieht am füglichsten durch Vergleichung derselben mit einem andern Objecte, dessen Durchmesser bereits bekannt ist. 507

Einen Vortheil bietet diese Messmethode insofern, als sie auch beim einfachen Mikroskope in Anwendung gezogen werden kann. Fürs zusammengesetzte Mikroskop steht sie aber natürlich vielen anderen in der Genauigkeit nach, einmal weil man keine ganz feinen Messungen dadurch erzielen kann, und zweitens weil das durch die Linse erzeugte Bild, mag diese Linse auch noch so gut aplanatisch sein, doch nicht die Schärfe besitzt, wie ein wirkliches Object. Ein Glasmikrometer im Oculare, mit dem man das Nämliche erreichen kann, ist in dieser Hinsicht vorzuziehen.

Wenn aber auch nicht zum Messen, so ist dieses Verfahren doch recht brauchbar zum Zeichnen der Objecte, da man es mehrfach modificiren kann, um das Gesichtsfeld in vierseitige oder sonst beliebige Felder abzutheilen. Als eine solche recht häufig anwendbare Modification ist die Methode anzusehen, die ich oben (S. 549) beschrieben habe.

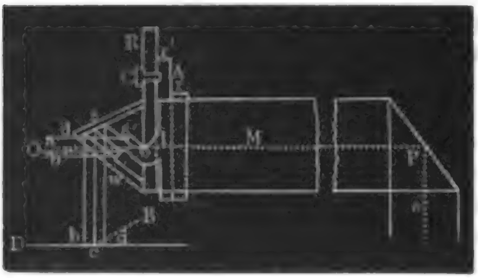
Jetzt habe ich nun noch über eine ganze Klasse mikrometrischer Methoden zu handeln, die alle darauf hinauslaufen, jene durchs Mikroskop geformten Bilder auf Oberflächen ausserhalb des Mikroskops zu projiciren, wo sie dann gemessen werden können, worüber auch S. 546 u. flg. nachzusehen sind. 508

Wollaston (Nicholson's Journal, Vol. 18, p. 1) erfand 1811 das Instrument, welches er Camera lucida nannte, und schon im folgenden Jahre benutzte es Weickert (Gilbert's Annal. Bd. 12, S. 110) beim zusammengesetzten Mikroskope. Im Jahre 1816 fügte Amici seinem katadioptrischen Mikroskope eine andere Art von Camera lucida bei, indem er eine kleine Tafel von dickem Glase mit parallelen Flächen unter einem Winkel von 45° einschob; dadurch wurde der nämliche Zweck erreicht, wie durch Wollaston's Einrichtung, wenn auch nicht in gleich

vollkommener Weise, weil die Reflexion hier keine ganz vollständige ist. Im Jahre 1827 brachte dann Amici die früher (§. 183) beschriebene Einrichtung bei seinem katadioptrischen Mikroskope an, die sich insofern wesentlich von der erstern unterscheidet, dass das Auge in der gleichen Richtung sieht, welche das Mikroskoprohr hat, und nicht senkrecht auf dieses gerichtet ist.

In der Hauptsache stimmt damit jenes Instrument, welches Hagenow mit dem etwas prahlerischen Namen Dikatopter belegte, und das in Fig. 393 im Durchschnitte dargestellt ist. Dasselbe wurde von H. Emsmann (Poggend. Annal. 1853, Bd. 88, S. 262) ausführlich beschrieben. Zuerst war es nur dazu bestimmt, Objecte genau nachzuzeichnen, die gar nicht oder doch nur wenig durch eine Lupe vergrössert wurden; später hat er es aber auch für das zusammengesetzte Mikroskop eingerichtet. (Karl B. Heller: Das dioptrische Mikroskop. Wien 1856, S. 51.)

Fig. 393.



Hagenow's Dikatopter.

Von der frühern Amici'schen Einrichtung unterscheidet sich dieses Instrument hauptsächlich dadurch, dass das Prisma durch einen Glasspiegel ersetzt ist, der überdies nicht unter, sondern über dem durchbohrten Spiegelchen sich befindet. Das Spiegelchen *s* ist unter einem Winkel von 65° vor dem Oculare aufgestellt. Gegenüber demselben, gleich vor dem Ocularrohre *l*, ist ein durchbohrtes kreisrundes Metallspiegelchen *s'* unter einem Winkel von 17° befestigt. Beide Spiegel sind gegen seitlich einfallendes Licht durch passend angebrachte Wandungen *w* geschützt und an den beweglichen Ring *R* befestigt. Durch *r* und *r'* ist der Apparat an die Röhre *M* angeheftet. Der Ring *r'* trägt überdies die vierseitige Säule *A*, um mittelst der Schraube *C* dem Apparate die nöthige Beweglickeit geben zu können. Das Auge des Beobachters, das sich bei *O* befindet, empfängt direct durch die kleine Oeffnung *o* die vom Prisma *P* reflectirten Strahlen des Gesichtsfeldes und gleichzeitig auch jene von dem Papierblatte *D* und vom Bleistifte *B*. Denn die von hier ausgehenden Strahlen *b*, *c*, *d* werden zuerst durch den grossen Spiegel *s* reflectirt, erleiden dann auf dem kleinen durchbohrten Spiegelchen *s'* eine zweite Reflexion und treten so ins Auge ein.

Früher schon, etwa um 1823, hatte der jüngere Sömmerring*)

*) Mit Unrecht bezeichnet R. Wagner (Sömmerring's Leben, S. 156) den be-

das nach ihm benannte Spiegelchen erfunden, welches zuerst von **Frauenhofer** angefertigt wurde. Vor mehreren Jahren ersetzte es **Oberhäuser** durch ein ganz kleines rechtwinkeliges Prisma, das ganz ebenso wirkt, aber wegen der vollständigen Reflexion den Vorzug verdient.

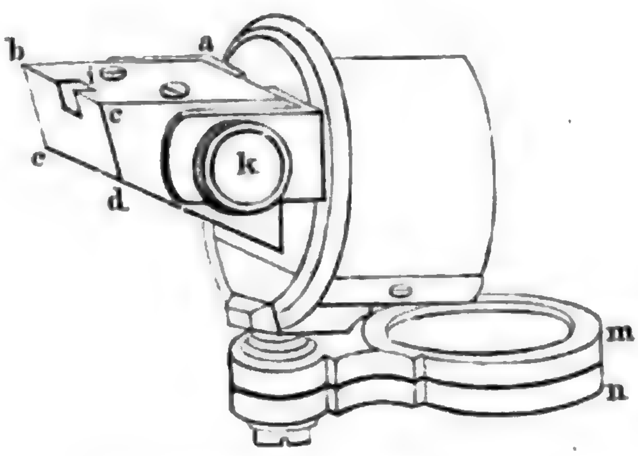
Die Art und Weise, wie diese verschiedenen katoptrischen und dioptrischen Apparate mit dem zusammengesetzten Mikroskope in Verbindung gesetzt werden, läuft im Allgemeinen darauf hinaus, dass sie an ein kurzes Röhrchen oder an einen Ring angesetzt sind, der ans Ocular passt und sich willkürlich wieder wegnehmen lässt. In Fig. 394 ist das **Sömmerring'sche** Spiegelchen abgebildet, und in Fig. 395 **Wollaston's** Camera lucida, wie sie **Ross** verfertigt. Hier ist das Prisma in das Käst-

Fig. 394.



Sömmerring's Spiegelchen.

Fig. 395.



Wollaston's Camera lucida.

chen *abcde* eingeschlossen, das bei *i* eine kleine Oeffnung fürs Auge hat. Der Knopf *k* wirkt auf die Axe, woran das Prisma hängt, und vermag somit, dessen Richtung etwas zu verändern. Die grösste Schwierigkeit beim Gebrauche eines solchen Instruments zum Zeichnen liegt nun darin, dass man den Bleistift und das Bild zu gleicher Zeit scharf sieht; deshalb hat **Ross** zwei Linsen *m* und *n* unter das Prisma gebracht, damit die Strahlen des Papiers und des Bleistifts unter dem nämlichen Winkel divergiren, wie jene vom Prisma kommenden, und so werden Bild des Objects und Bleistift gleich deutlich gesehen.

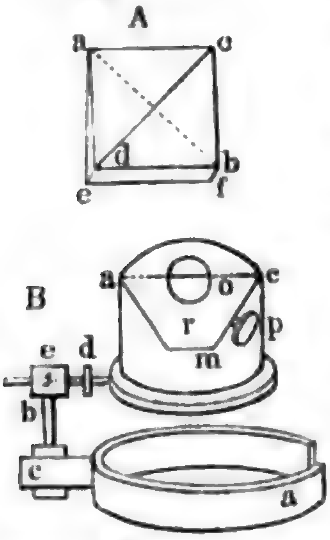
Eine neue Camera lucida, die von **Nachet** angegeben wurde, ist Fig. 396 (a. f. S.) dargestellt. Bei *A* sieht man ein prismatisches Stück Glas, das ursprünglich die Form eines rechteckigen Parallelepipedums hatte, 10 Millimeter lang, 7,5 Millimeter breit und 12 Millimeter hoch ist. Daran sind zwei dreieckige Flächen geschliffen, nämlich *dac* und gegenüber *acb*. Es sind gleichschenkelige Dreiecke, deren Spitzen sich in *a* und *c* befinden; die Seite *ac* ist ihnen gemeinschaftlich, und sie sind unter

---

rühmten Anatomen als Erfinder; das ergiebt sich deutlich aus dessen Abhandlung: **Ueber das feinste Gefässnetz der Aderhaut** S. 6.

einem Winkel von etwa 60⁰ gegen einander geneigt. Die Strahlen nehmen nun folgenden Gang: sie treten durch die länglichvierseitige Fläche *edbf* ein, erreichen die dreiseitige Fläche *abc*, werden hier reflectirt und treten durch die dreiseitige Fläche *dac* wieder nach aussen. Bei *B* sieht man, wie diese Camera lucida zur Benutzung beim Mikroskope eingerichtet ist. Der Ring *a* passt fürs Ocular; *b* ist eine kleine runde Stange, die sich in *c* dreht, und ebenso dreht sich *d* in *e*; *d* aber steht mit dem Metallkästchen *m* in Verbindung, worin das gläserne Prisma enthalten ist. Dieses wird durch die Schraube *p* und durch die fast dreiseitige Platte *r* darin festgehalten, welche letztere nach oben eine kleine runde Oeffnung *o* besitzt, wodurch man die obere Kante *ac* des Prisma sieht, doch so, dass die Hälfte der Oeffnung freibleibt, um zugleich die Oberfläche wahrzunehmen, auf welche projicirt wird.

Fig. 396.



Nachet's Camera lucida.

Bringt man diese oder eine andere Camera lucida auf das Ocular eines vertikal stehenden Mikroskops, so versteht es sich von selbst, dass die Bilder auch auf eine vertikale Fläche projicirt werden. Das würde nun beim Gebrauche unbequem sein, und deshalb pflegt man das Mikroskop horizontal zu stellen, wenn es dessen mechanische Einrichtung gestattet, oder man benutzt neben den eigentlichen Projectionsmitteln noch ein rechtwinkeliges gläsernes Prisma, wodurch das Strahlenbündel eine horizontale Richtung bekommt.

Das einfachste Hülfsmittel dieser Art, wodurch sowohl die horizontale Stellung des Mikroskops als das Einschieben eines Prisma überflüssig wird, ist die Camera lucida, deren ich schon oben (Fig. 76) gedacht habe. Ich sah sie zuerst am Nobert'chen Mikroskope, man bekommt sie aber jetzt auch bei Nachet um 25 Francs. Die dünne Glasplatte *ab*, welche unter einem Winkel von 45⁰ geneigt ist, kommt über das Ocular, und wer hindurchsieht, nimmt gleichzeitig den Bleistift, den Cirkel oder andere Gegenstände wahr, die sich bei *P* zur Seite des Mikroskops befinden. Bei einem vertikal stehenden Mikroskope sieht man also die Hand, welche den Bleistift oder den Cirkel hält, auf dem Tische, der das Mikroskop trägt, zugleich mit dem im Gesichtsfelde befindlichen Objecte. An dieser so einfachen und bequemen Vorkehrung ist nur das zu tadeln, dass wegen der unvollkommenen Reflexion an der Oberfläche des schiefstehenden Glasplättchens nur wenige Strahlen von den zur Seite des Mikroskops befindlichen Objecten ins Auge gelangen. Indessen weiss ich aus Erfahrung, dass sie gleichwohl für die meisten Fälle ausreichend ist.

Es waren diese verschiedenen Hülfsmittel beim zusammengesetzten Mikroskope schon viele Jahre benutzt worden, als Chevalier (*Annal.*

des Sc. natur. 1836. 2. Serie, V, p. 116) die Camera lucida auch beim einfachen Mikroskope in Anwendung zog. Er brachte es dazu in die horizontale Stellung. Aber noch im nämlichen Jahre wurde dies von Milne Edwards und Doyère (*Comptes rendus*. 1836, Febr. 8) verbessert: über die Linse des vertikalen Mikroskops brachten sie unter einem Winkel von 45° einen flachen Spiegel, und gegenüber einen zweiten damit parallelen, worin das Auge das reflectirte Bild erblickt und auf ein darunter liegendes Papier projicirt. Natürlich passt diese Vorrichtung auch ganz fürs zusammengesetzte Mikroskop.

Die soeben beschriebene Vorrichtung kostet bei Oberhäuser 35 Francs.

Oberhäuser's Camera lucida (das kleine rechtwinkelige Prisma) mit dem Rohre zur horizontalen Stellung (*Oculaire coudé*) kostet 50 Francs.

Pistor und Martins liefern ein solches knieförmig gebogenes Ocular zum Zeichnen für 20 Thaler, und eine Amici'sche Camera lucida für 8 Thaler.

Ein Ocular mit Camera lucida kostet bei Pritchard 1 Pfund 1 Schilling, bei Ross 2 Pfund 10 Schilling.

Endlich erwähne ich noch, dass auch die verschiedenen Bildmikroskope zum Messen und Zeichnen von Objecten benutzt werden können, namentlich aber die tragbaren Apparate, welche die Bilder auf ein horizontales mattes Glas oder auf Papier projiciren.

Bei allen Mikroskopen, wo die feine Einstellung mittelst einer 509
Schraube bewirkt wird, kann man auf deren Knopf eine Theilung einschneiden und in vertikaler Richtung messen, ganz so, wie man mit dem gewöhnlichen Schraubenmikrometer in horizontaler Ebene misst. Will man z. B. den vertikalen Abstand zweier Objecte wissen, die sich übereinander im Gesichtsfelde befinden, so wird zunächst das Mikroskop so eingestellt, dass das eine Object ganz deutlich und scharf sich darstellt, hierauf aber die Schraube umgedreht, bis man auch das andere Object gleich scharf sieht und alsdann wird abgelesen, wie viele Umdrehungen der Schraube stattgefunden haben. Auf diese Weise kann man z. B. die Dicke der Zellenschichten in Pflanzengeweben bestimmen, die Dicke von Gefässen u. s. w., desgleichen die Dicke der zu mikroskopischen Untersuchungen benutzten Deckplättchen, wobei kleine Staubtheilchen, Ritze und dergleichen an den beiden Oberflächen als Erkennungsmittel dienen.

An diese Anwendung der Schraube scheint zuerst Dakin (Philos. Magaz. IV, pag. 429) im Jahre 1828 gedacht zu haben, von dem auch die Bezeichnung Focimeter herrührt. Einige Jahre später bekam nach Solly's Vorschlage das Mikroskop, welches Ross für Valentine lieferte, ebenfalls einen solchen Focimeter. Die Schraube hatte 50 Gänge auf den Zoll und das Zeigerblatt war in 100 Theile getheilt, d. h. jede Abtheilung desselben war = $^1/_{5000}$ Zoll oder etwa 0,005 Millimeter.

Ohne davon zu wissen kam ich 1838 auf die nämliche Idee. Ich

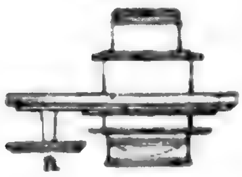
versah mein bereits beschriebenes einfaches Mikroskop, bei dem geschmolzene Glaskügelchen als Vergrösserungsgläser dienten, mit einem solchen Focimeter; die Schraube hatte auf 18 Millimeter Länge 30 Gänge und das Zeigerblatt war in 100 Theile getheilt, so dass also jede Abtheilung 0,006 Millimeter gleichkam.

In neuerer Zeit ist es in England allgemein in Gebrauch gekommen, auf den Knopf der Schraube für die feine Einstellung eine Theilung einzuschneiden. Bei den Mikroskopen von Smith und Beck wird dadurch die Dicke der Deckplättchen gemessen, unter Berücksichtigung der Veränderungen, welche das Objectiv demgemäss (S. 754) erleiden muss. Pritchard und Powell haben auch solche Focimeter bei ihren Mikroskopen; die Schraube ist dabei mit einer geneigten Fläche in Verbindung gesetzt, wodurch die Objectplatte gehoben wird. Die geneigte Fläche zur feinen Einstellung reicht aber bis auf Lyonet zurück (S. 619); dieser bediente sich derselben, freilich auf etwas rohere Weise, schon bei seinem Dissectionsmikroskope. Es versteht sich von selbst, dass hier alle die zahlreichen Modificationen zur feinen Einstellung selbst zulässig sind.

510 Endlich sind auch noch die Goniometer zu erwähnen. Brewster (*New Instr.* p. 110) hat zuerst im Jahre 1818 ein Mikroskop beschrieben, das ausdrücklich zu Winkelmessungen bestimmt war. Das Ocular ist in eine eingetheilte Kreisplatte gefasst, mit einem Nonius versehen, und darüber befindet sich ein Spiegelchen von schwarzem Glase. Die Kreistheilung wird zugleich mit dem Spiegelchen gedreht, bis die Linien, welche den Winkel bilden und sich gleichzeitig im Gesichtsfelde des Mikroskops und im Spiegelchen zeigen, zusammen eine einzige verlängerte gerade Linie darzustellen scheinen, und dann wird weiter gedreht, bis die nämliche Erscheinung von Neuem eintritt. So erhält man die verlangte Grösse dieses Winkels.

Eine einfachere Einrichtung wurde 1838 von Raspail (*Nouveau Système de Chimie organique*, p. 53) angegeben. Ein eingetheilter Kreis wird auf Leim (sogenanntes Glaspapier) gravirt, in den Focus des obersten Oculars gebracht, und darüber wird ein Faden in der Richtung des Durchmessers gespannt. Auf das bewegliche Rohr dieses obersten Oculars kommt ein im Innern geschwärztes Futteral von Pappe, worin ebenfalls ein Faden befestigt ist, so dass die beiden Fäden einander decken können, sich aber unter einem Winkel kreuzen, sobald das oberste Ocular herumgedreht wird.

Fig. 397.



Chevalier's Goniometer.

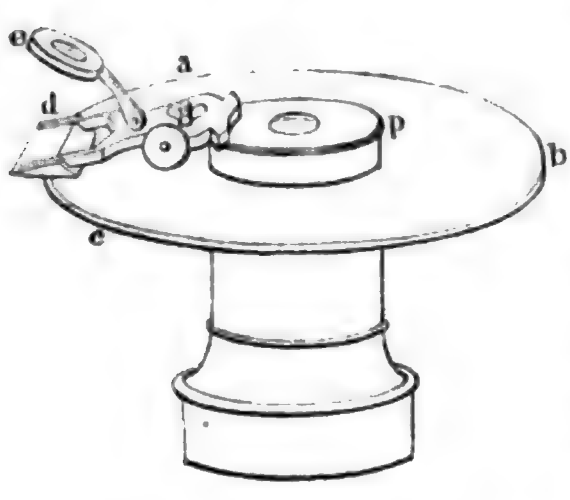
Diese jedenfalls unvollkommene Einrichtung wurde durch Chevalier verbessert, der nach dem nämlichen Principe den in Fig. 397 abgebildeten Goniometer construirte. Es sind zwei kreisrunde Glasplatten, jede mit einem durch den Diamanten gezogenen Striche in der Richtung des

Durchmessers. Die eine Platte ist unbeweglich im Focus des obersten Oculars; die zweite befindet sich unmittelbar über der erstern, in einen in Grade getheilten Ring gefasst, der im Umfange mit Zähnen versehen ist. Da hinein greifen die Zähne eines kleinen Rades zur Seite des Oculars, welches durch den Knopf *a* herumgedreht wird.

Eine ganz genaue Messung ist aber auch mit Chevalier's Goniometer noch nicht möglich. Weit besser kommt man zum Ziele durch zwei andere Methoden, die darin mit einander übereinkommen, dass im Oculare ein Spinnewebfadenkreuz angebracht ist. In den Kreuzungspunkt kommt die Spitze des Winkels, den man messen will, so dass der eine Schenkel des Winkels mit dem einen Faden zusammenfällt. Wird dann entweder das Ocular oder der Objecttisch um seine Axe gedreht, bis der andere Schenkel mit dem nämlichen Faden zusammenfällt, so hat man natürlich durch den beschriebenen Drehungsbogen den Winkel gemessen.

Carl Schmidt (Untersuchungsmethode der Säfte und Excrete 1846, S. 19) beschrieb nämlich 1846 das in Fig. 398 dargestellte Goniometer.

Fig. 398.



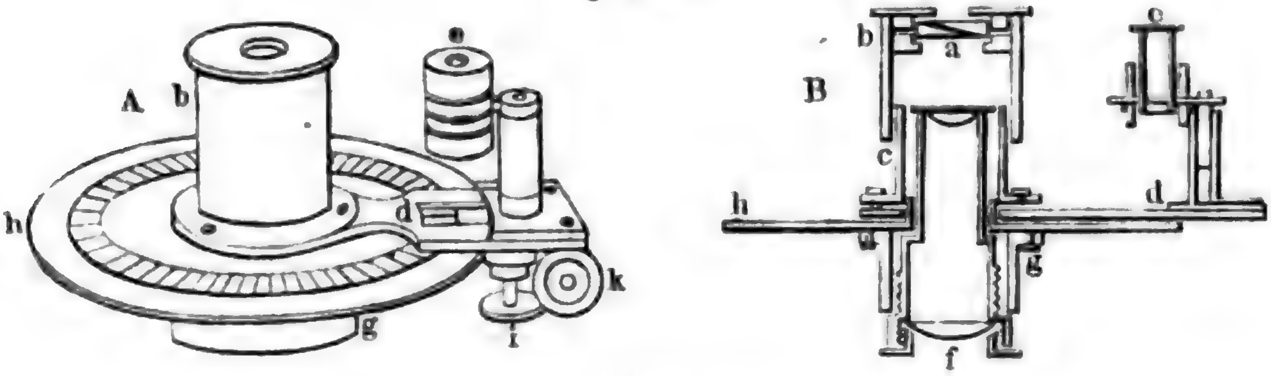
C. Schmidt's Goniometer.

Ein in $^1/_3$ Grade getheilter Kreis *abc* ist am Körper des Mikroskops befestigt. Ein Nonius *d*, über dem behufs der bessern Ablesung noch eine planconvexe Linse *e* angebracht ist, steht mit dem Rande des Oculars *p* in Verbindung, worin sich ein Fadenkreuz befindet. Einen zweiten Nonius könnte man gegenüber dem ersten anbringen, wenn der Kreuzungspunkt nicht ganz genau in der Axe liegt; Schmidt hält aber einen solchen nicht für nöthig, wenn das Instrument sorgfältig gearbeitet ist, da er mit seinem Schiek'schen Mikroskope den möglichen Fehler, auch ohne diesen zweiten Nonius, nicht viel über 20 Secunden hinausgehend fand. — Die andere derartige Einrichtung findet man an Pacini's Mikroskope und an den grösseren Brunner'schen Mikroskopen. Bei beiden ist der runde drehbare Objecttisch in Grade und Unterabtheilungen getheilt, so dass mittelst eines Nonius auch noch die Minuten abgelesen werden können.

Theoretisch betrachtet sind diese beiden Einrichtungen wohl gleich zweckmässig. Indessen gebe ich doch der Schmidt'schen den Vorzug, da man, wenn das Ocular sich um seine Axe dreht, die Spitze des Krystalls weit leichter gerade im Kreuzungspunkte der Fäden behält. Auch erfolgt die Vergrösserung der Bewegung blos durchs Ocular und jede Bewegung des Objecttisches wird immer in stärkerer Vergrösserung wahrgenommen, weil das Objectiv ebenfalls mitwirkt.

Noch genauere Messungen scheint aber das Goniometer zu liefern, welches Leeson im Jahre 1846 der *British association* in Southampton vorlegte, und welches in Fig. 399 bei *A* in perspectivischer Zeichnung, bei *B* im Durchschnitte dargestellt ist. Der Winkel wird hier durch ein doppelt brechendes Prisma von Kalkspath oder von Quarz gemessen,

Fig. 399.

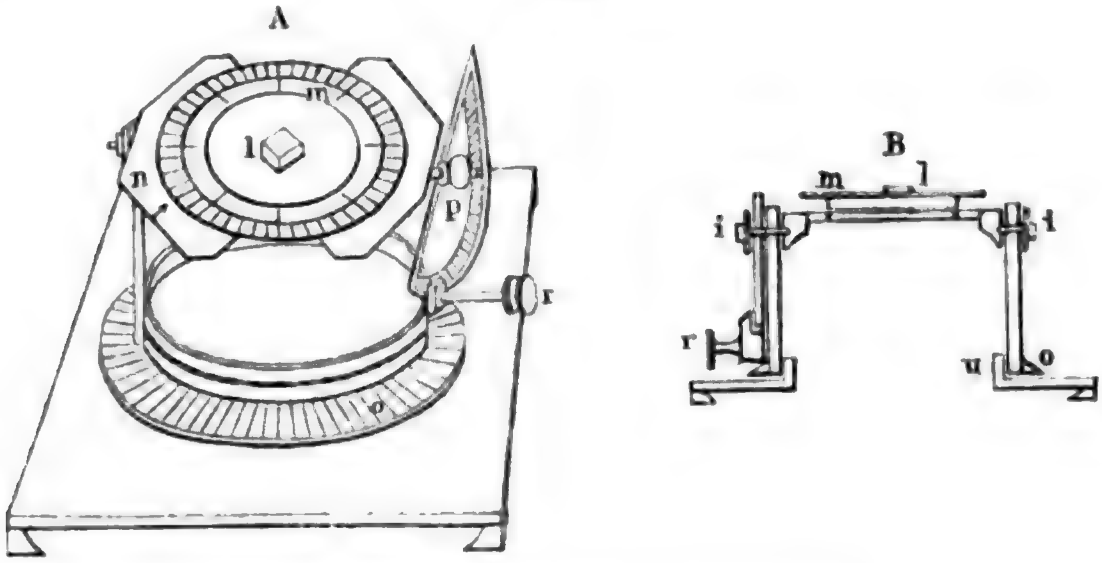


Leeson's Goniometer.

welches so dick ist, dass die Bilder des zu messenden Winkels nur theilweise von einander getrennt sind. Bei *a* befindet sich ein achromatisches Kalkspathprisma, statt dessen man aber auch das Rochon'sche Quarzprisma nehmen kann; *b* ist das messingene Rohr, in welches das Prisma gefasst ist, mit einer runden Oeffung über der Oeffnung des Oculars. Das Rohr *b* hat eine straffe Bewegung um das Rohr *c*, woran der Arm *d* sitzt, mit einem Nonius für den in Grade eingetheilten Kreis *h*. Dieser Kreis umgiebt das Ocular *f*, dessen Rohr in ein zweites Rohr *g* geschraubt wird. Letzteres schliesst genau ans Mikroskoprohr an. Der Nonius hat eine Klemmschraube *i* und eine Einstellungsschraube *k*. Ausserdem enthäit das kleine Rohr *e* eine Lupe zum Ablesen.

Leeson hat dazu noch einen besonders eingerichteten Objecttisch, um einen auf ein Glastäfelchen befestigten Krystall in eine Stellung zu bringen, wo die Messung am besten auszuführen ist. Derselbe ist Fig. 400 dargestellt, und zwar bei *A* in perspectivischer Zeichnung, bei *B* im Durchschnitte. Der Krystall kommt auf das Glastäfelchen *l*, wel-

Fig. 400.

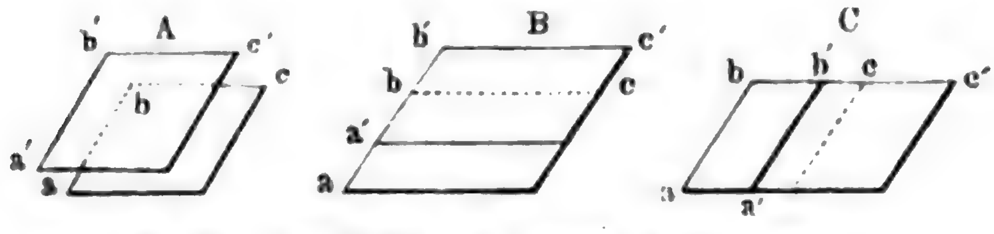


Objecttisch zu Leeson's Goniometer.

ches in den Ring *m* passt, und dieser passt selbst wieder in den Ring *n*. Bei grösseren Krystallen nimmt er auch einen Ring mit drei Schrauben, zwischen deren mit Kork belegten Enden der Krystall dann eingeklebt wird. Am Ringe *n* sitzt eine halbkreisförmige Platte *p*; diese dreht sich um zwei Schrauben *ii*, welche durch zwei senkrecht stehende Stangen gehen, so dass sie durch die Klemmschraube *r* in die verschiedensten Neigungen gebracht werden kann. Die Platte *p* kann in Grade getheilt sein und dann auch dazu dienen, die Neigung der optischen Axen bei polarisirtem Lichte zu bestimmen. Es lässt sich *m* nicht blos in allen Richtungen innerhalb *n* herumdrehen, und durch den Halbkreis *p* auch unter allen Winkeln neigen, sondern es lässt sich auch der ganze Ring *o*, in welchen die vertikalen Stangen eingefügt sind, um das kurze Rohr *u* auf der Platte *s* herumdrehen, die auf den Objecttisch des Mikroskops befestigt wird. Der Ring *o* kann auch eine Gradeintheilung bekommen, wodurch er bei Untersuchungen mit polarisirtem Lichte benutzbar wird.

Betrachtet man nun einen Krystall durch das Prisma des Goniometers, so hat man beim Umdrehen des Prisma zwei Bilder desselben, die sich auf verschiedene Art decken können, z. B. so wie in Fig. 401 bei *A*. Soll nun der Winkel *abc* gemessen werden, so kommt der Nonius erst auf Null und wird hier festgeklemmt. Dann dreht man das Rohr *b* mit dem Prisma, bis die Linien, welche die eine Seite des Winkels

Fig. 401.



Stellung der Bilder mit Leeson's Goniometer.

bilden, in beiden Bildern zusammenfallen, nämlich *ab* und *a'b'* in *B*. Hierauf wird der Nonius gelöst und über den eingetheilten Kreisbogen gedreht, bis die beiden Linien, welche die andere Seite des Winkels bilden, ebenfalls zusammenfallen, nämlich *bc* und *b'c'* in *C*. In dem also durchlaufenen Bogen hat man das Maass des Winkels oder seines Complements je nach der Richtung, in welcher der Nonius bewegt wurde.

Endlich beschrieb auch Highley 1856 ein Mikroskop, welches ausdrücklich zu krystallographischen Untersuchungen bestimmt und mit mancherlei dazu dienenden Hülfsmitteln ausgestattet ist.

Fünftes Kapitel.

Apparate und Hülfsmittel zum Schutze der Linsen bei mikrochemischen Untersuchungen.

511 Bei den meisten mikroskopischen Untersuchungen macht es sich nöthig, dass man die Objecte mit durchsichtigen Plättchen bedeckt. Stecken die Objecte in einer Flüssigkeit, so schützen diese Plättchen auch die Linsen gegen die aufsteigenden Dünste, die sich als Tröpfchen an die Oberfläche der Gläser anlegen würden. Ausserdem wird durch eine solche Bedeckung die Oberfläche der Objecte abgeplattet, was wesentlich dazu beiträgt, die Beobachtung mit mehr Sicherheit und Bequemlichkeit auszuführen, und aus naheliegenden Gründen ist dies um so nöthiger, je stärker die benutzten Vergrösserungen sind.

Als man das Mikroskop erst zu gebrauchen anfing, nahm man allgemein Glimmerblättchen zu dieser Bedeckung, und noch bis vor wenigen Jahren musste man dazu allgemein die Zuflucht nehmen, wenn ganz dünne Deckplättchen nöthig waren. Indessen sind solche Glimmerblättchen selten ganz frei von kleinen Rissen und Sprüngen, und deshalb benutzte ich in früherer Zeit vielfältig das dünne Glashäutchen, welches erhalten wird, wenn man in einer Löthrohrflamme das geschlossene Ende einer Glasröhre erhitzt und dieses dann plötzlich zu einer grossen Kugel ausbläst. Jetzt kann man nun aber dieses Glashäutchen sowohl wie die Glimmerblättchen entbehren, da man sich bei allen Verfertigern von Mikroskopen gläserne Deckplättchen verschaffen kann, die nur $^1/_3$ bis $^1/_7$ Millimeter dick sind, also auch für sehr starke Objectivsysteme sich als hinreichend dünn bewähren.

In England verfertigt Chance in Birmingham dieses Deckglas für mikroskopische Präparate im Grossen, und von den englischen Instrumentenmachern kann man es daher auch in grossen Platten bekommen, aus denen man sich selbst Deckplättchen von beliebiger Grösse zubereiten kann. Man muss aber einen Schreibdiamanten dazu nehmen, da ein gewöhnlicher Glaserdiamant das dünne Glas splittert. Vierseitige Deckplättchen schneidet man mit dem Lineal, runde und ovale mit gleichgestalteten Metallscheiben, indem man erst mit dem Diamanten nach der Richtung der Scheibe schneidet, und dann von diesem Einschnitte aus einige strahlenförmige Striche nach aussen führt, um den überschüssigen Rand abbrechen zu können. — Von Beale's Ring zur Anfertigung solcher Deckplättchen ist schon früher (§. 296) die Rede gewesen. Oschatz (Dingler's polytechn. Journ. 1849, XIII, S. 191) hat ausserdem

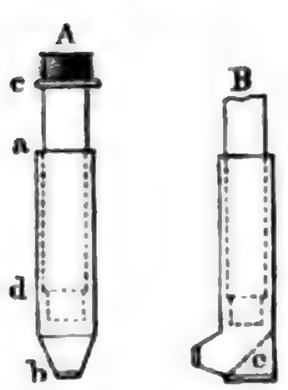
ein ziemlich zusammengesetztes Instrument zum Schneiden dünner Glasplättchen empfohlen, das aber offenbar ganz überflüssig ist, wenn man statt des Glaserdiamanten einen Schreibdiamanten benutzt.

Mohl (Mikrographie S. 164) glaubte im Schönbein'schen durchsichtigen Papier ein passendes Mittel zu haben, um die gläsernen Deckplättchen zu ersetzen. Dessen Bereitungsweise war damals noch unbekannt; jetzt weiss man, dass es dadurch erhalten wird, wenn man Collodium auf eine horizontale, mit Wasser befeuchtete Glasplatte ausgiesst. Ohne Zweifel kann dieses durchsichtige Papier, wenn es gut zubereitet ist, zumal wenn das dazu benutzte Collodium ganz rein und durchsichtig war, zwischendurch benutzt werden; sicherlich aber wird seine Benutzung immer eine beschränkte bleiben, da dieses von Wasser allerdings nicht angegriffene Papier gleichwohl der Einwirkung mancher anderen Flüssigkeiten, die bei mikrochemischen Untersuchungen in Anwendung kommen, zugänglich ist.

Neben den Deckplättchen hat man späterhin noch Apparate erfunden, wodurch man die Linsen bei Untersuchungen schützt, wenn entweder das Objectiv unter Wasser kommt oder wenn die Wirkung chemischer Reagentien auf die Objecte geprüft werden soll. 512

So empfahl Goring (*Microsc. Illust.*, p. 55) 1830 zwei kleine Apparate, die in Fig. 402 dargestellt sind; er nannte sie den geraden und den diagonalen Stiefel oder Protector (*direct and diagonal boot*). Bei A sieht man den geraden Stiefel, ein kurzes, kegelförmig zulaufendes Rohr ab, welches unten durch ein Glasplättchen wasserdicht verschlossen und mit einer längeren Röhre verbunden ist, die an das Mikroskoprohr passt, woran die Objective geschraubt werden. Durch diesen Stiefel werden die Linsen geschützt, wenn sie in Wasser tauchen. Der zweite bei B dargestellte Stiefel ist gebogen, hat aber die nämliche Zusammensetzung, abgerechnet ein Metallspiegelchen oder ein rechtwinkeliges Glasprisma e, die unter einem Winkel von 45^0 angebracht sind; dabei ist der kegelförmige Theil horizontal, so dass man damit Objecte betrachten kann, die sich an der Innenfläche eines Glasgefässes befinden.

Fig. 402.



Goring's Protectoren.

In der gleichen Absicht umgab Raspail (*Chimie organique*, p. 50) das Objectiv mit einer geschlossenen Glasröhre, deren Oberfläche an der Linse anliegt. Raspail benutzte sie vornehmlich, um die Wirkung der Siedhitze auf die Körper zu prüfen, wobei er den Spiegel durch eine Lichtflamme ersetzte. Dazu passt auch eine ganze Glasröhre besser, als der Goring'sche Stiefel, weil die Substanz, wodurch das platte Glastäfelchen an dem Stiefel befestigt wird, durch die Wärme leicht nachgiebt. Zu einer genauern Beobachtung indessen eignet sich das Goring'sche platte Glas besser, weil die gebogene Fläche des Bodens einer Glasröhre immer schädlich wirkt.

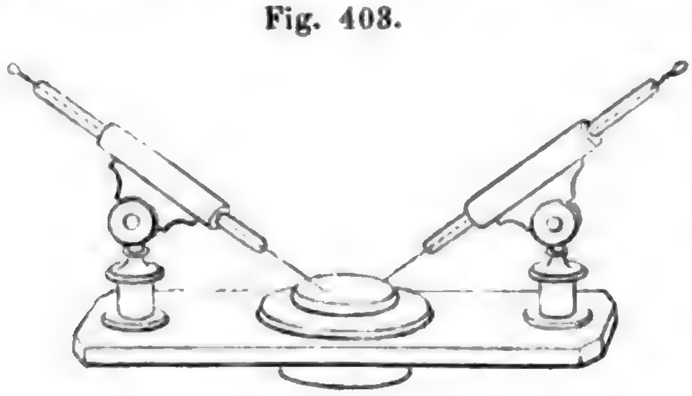
Verhältnissmässig wenig scheint mir das kleine rechtwinkelige Prisma von etwa 9 Millim. Höhe zu nützen, welches Merz 1845 bei seinem Mikroskope anbrachte: es wird an das Objectiv angeschraubt, so dass die eine Kathetenfläche einem auf dem Objecttische stehenden Gefässe mit gläsernen Seitenwänden zugekehrt ist. Chemische Reactionen innerhalb dieses Gefässes können dann auf gewöhnliche Weise von der Seite beschaut werden. Einmal aber sind dabei nur schwach vergrössernde Objective anwendbar, weil das Prisma sich immer zwischen dem Objective und dem Gefässe befindet, und zweitens kann die Flüssigkeitsschicht, worin die Reaction stattfindet, hier unmöglich dünn genug sein, dass die darin befindlichen Objecte bei durchfallendem Lichte gehörig gesehen werden können, denn dazu würde künstliches Licht oder ein auf besondere Weise gestellter Spiegel erfordert werden.

Die vollkommenste Einrichtung zu mikrochemischen Untersuchungen bietet das umgekehrte Mikroskop von Chevalier, das später nach den Angaben von Lawrence Smith von Nachet verbessert wurde (S. 771), und das auch noch zu manchen anderen Untersuchungen besser sich eignet, als das gewöhnliche Mikroskop. Nur will ich bemerken, dass die beigegebenen Apparate, womit die Veränderungen der Körper während des Kochens untersucht werden sollen, wenig oder gar keinen praktischen Nutzen schaffen, weil durch die siedende Flüssigkeit die kleinen darin befindlichen Körperchen keinen Augenblick im Gesichtsfelde und noch viel weniger im Focus des Objectivs bleiben, überdies auch der Spiegel bald mit Dampf beschlägt und das Licht nicht mehr gehörig reflectirt.

Immer noch sind zu mikrochemischen Untersuchungen die einfachsten Mittel, die bei jedem Mikroskope Anwendung finden können, auch die besten, und bei einiger Vorsicht, zumal wenn man grössere Deckplättchen nimmt, läuft man wenig oder gar keine Gefahr, die Objectivlinsen zu beschädigen, selbst wenn scharfe flüchtige Reagentien in Anwendung kommen. Die nöthigen Anweisungen dafür sind schon im zweiten Buche gegeben worden.

Ich habe hier noch des kleinen Elektricitätsentladers von Plössl zu gedenken, der in Fig. 403 dargestellt ist, und wofür Plössl 5 Gulden Conv.-M. berechnet. Man kann damit die Wirkung der Elektricität auf Objecte prüfen, die sich unter dem Mikroskope befinden. Der kleine Apparat ist nichts anderes als ein gewöhnlicher Entlader im Kleinen; er kann auf den Objecttisch gestellt werden und ist jedenfalls ganz zweckmässig eingerichtet. Allein der einfache, leicht herzustellende Apparat, den ich oben (S. 429) beschrieben habe, macht ihn ganz entbehrlich.

Fig. 403.



Plössl's Elektricitätsentlader.

Sechstes Kapitel.

Werkzeuge zur Anfertigung mikroskopischer Präparate.

Als man das Mikroskop zuerst zu benutzen begann, beschränkte 513
man sich fast allein auf die Untersuchung der Objecte, so wie sie in der Natur vorkommen. Kleine Insecten, die man an eine Nadel spiesste oder zwischen zwei Glimmerblättchen einschloss, wurden am meisten beobachtet. Höchstens brachte man die Flügel, die Beine, die Fühlhörner und ähnliche Theile noch besonders unters Mikroskop. Zu einer anatomisch-mikroskopischen Untersuchung waren die Instrumente, deren man sich zur Zergliederung bediente, zu grob.

Jan Swammerdam (geb. 1637, gest. 1680) wandte zuerst Instrumente an, wie sie die Feinheit der Untersuchung verlangte, und theilweise wenigstens sind seine vortrefflichen Untersuchungen über den innern Bau der Insecten dadurch mit bedingt. In der Ausgabe der *Biblia naturae*, welche Boerhaave und Gaubins besorgten, findet sich Swammerdam's Leben aus Boerhaave's Feder, und hier wird über seine Instrumente Nachricht gegeben. Ausser dem von Samuel Musschenbroek verfertigten Sectionstische benutzte er ganz feine Scheeren, worin nach Boerhaave sein hauptsächlichstes Geheimniss bestand, und ausserdem hatte er auch kleine Messer und Lanzetten, desgleichen Nadeln, „so fein, dass sie ohne Vergrösserungsglas nicht geschliffen werden konnten". Die Eingeweide und die Gefässe blies er mittelst Glasröhrchen auf, die in der Glasbläserflamme in eine ganz feine Spitze ausgezogen waren. Die nämlichen Röhrchen dienten ihm auch, diese Theile mit gefärbten Flüssigkeiten zu füllen. Die zu untersuchenden Insecten tödtete er vorher in Wasser, Weingeist oder Terpentin, und die Zergliederung nahm er dann unter Wasser vor. — Alle diese von Swammerdam benutzten Instrumente sind auch von Lyonet und anderen Insectenzergliederern bis auf unsere Tage herab gebraucht worden.

Unter den von Boerhaave genannten Instrumentchen werden keine 514
kleinen Pincetten oder Zängelchen genannt, womit man die Theile während der Zergliederung fassen kann. Hat sie aber auch Swammerdam nicht gekannt, so wurden sie doch zuverlässig wenige Jahre nach dessen Tode von Joh. Musschenbroek angefertigt, namentlich um kleine mikroskopische Objecte damit zu fassen und zwar (Fig. 222, S. 606) ziemlich in gleicher Form wie noch heut zu Tage.

Manchen Zwecken entspricht die Veränderung, welche Varley vor mehreren Jahren mit der Pincette vorgenommen hat, indem er ihr die in Fig. 404 abgebildete Form gab. Sie eignet sich namentlich recht gut, um in Wasser befindliche Objecte zu fassen. Liegen diese übrigens auf

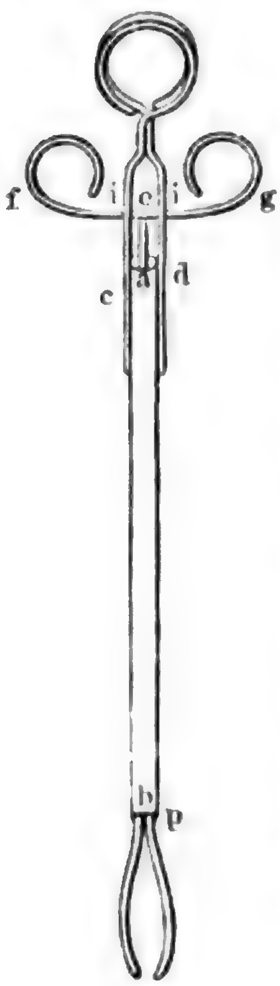
Fig. 404.



Varley's Pincette.

dem Boden eines Gefässes, dann ist ein von Edwin Quekett erfundenes Instrument, woran ich ein paar Veränderungen angebracht habe, recht brauchbar. Es ist Fig. 405 dargestellt. Eine Messingröhre *ab*, 5 bis 6 Millimeter dick und beliebig lang (bis 20 Centimeter und mehr), hat oben zwei Messingdrähte *c* und *d* angelöthet, die weiterhin mit einem Ringe verbunden sind. In der Röhre steckt die stählerne Sonde *ep*, die oben in ein plattes Metallstück *fg* eingeschraubt ist. Dieses Metallstück hat zwei seitliche Oeffnungen *ii*, wo die Drähte *c* und *d* durchgehen, und an beiden Enden ist es ringförmig umgebogen für den Zeige- und Mittelfinger, während der Daumen in den höher liegenden Ring kommt. Nach unten ist die Sonde *ep* gespalten, und die beiden Theile sind gut gehärtet und dadurch federnd, dabei aber pincettenartig gebogen, so dass sie fassen, wenn die Röhre *ab* nach unten drängt.

Fig. 405.



Im Vorbeigehen will ich nur bemerken, dass Purkinje (Wagner's Handwörterbuch 1844, Art. Mikroskop, S. 428) sich mit dem Gedanken getragen hat, einen mikrotomischen Objecttisch mit mikrometrisch beweglichen Pincetten und Scheeren herzustellen. Ich weiss nicht, ob er sein Vorhaben ausgeführt hat, zweifle aber daran, dass sich diese Idee nutzbar verwirklichen lässt.

515 Schieberpincette. Die Anzahl der schneidenden Instrumente hat in den letzten Jahren durch die verschiedenen Doppelmesser zugenommen, wozu die erste Idee von Valentin (Repertorium für d. J. 1838, Bd. 4, S. 30) kam und worüber schon oben (S. 364) gehandelt worden ist.

Schon seit langer Zeit sind vielerlei Instrumente erfunden und gebraucht worden, mit denen man dünne Durchschnitte aus harten Pflanzen-

geweben zu Stande bringen wollte. Diese sogenannten **Mikrotome** haben im Allgemeinen eine solche Einrichtung, dass das Object, z. B. das Aestchen eines holzartigen Stengels mittelst einer Schraube nach oben bewegt wird, bis es eben aus der Oeffnung an einer etwas grössern platten Oberfläche heraustritt. War nun das vorstehende Ende des Objects vorher gerade abgeschnitten worden, so kann man mittelst eines scharfen und flachen Messers Scheibchen von beliebiger Dicke anfertigen, indem man die Schraube höher oder niedriger stellt.

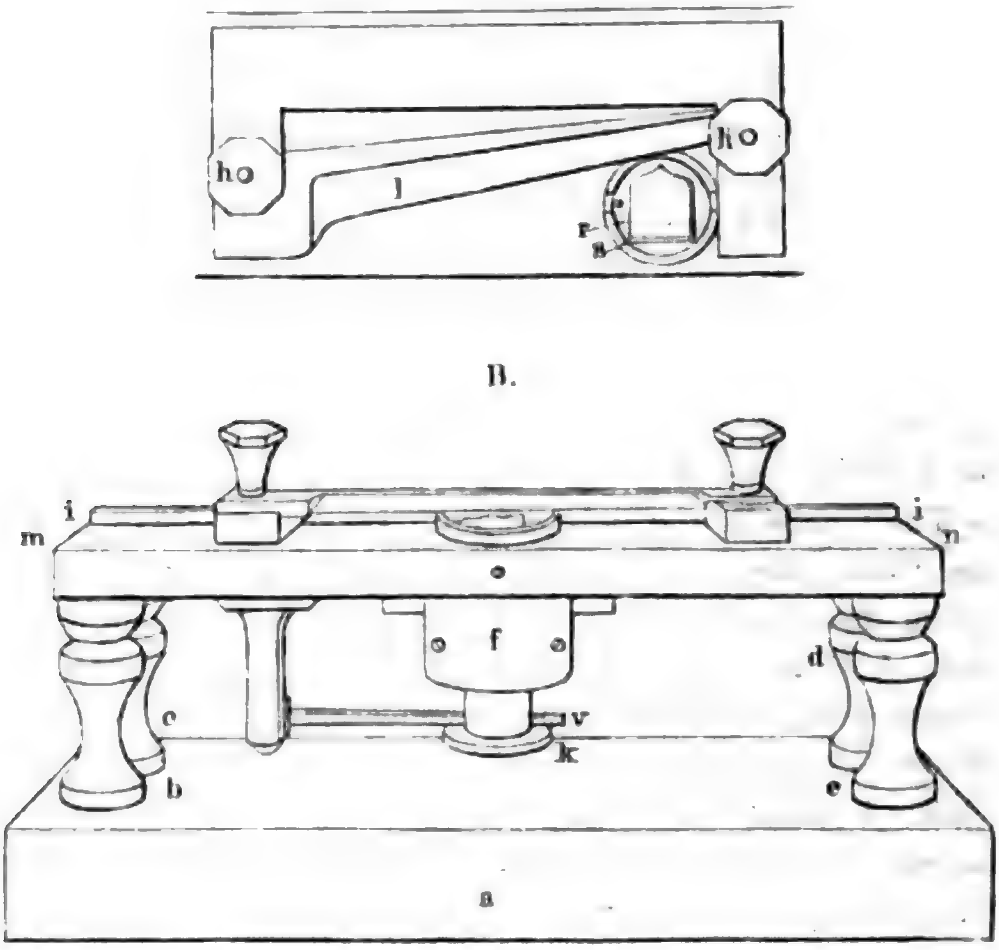
Der Gedanke, auf solchem Wege sehr dünne und gleichmässige Durchschnitte zu bekommen, liegt so nahe, dass man sich nicht wundern darf, wenn schon seit langer Zeit derartige schneidende Instrumente angefertigt worden sind. Ein solches, offenbar von sehr altem Datum, befindet sich z. B. im Utrechter physikalischen Kabinette. Es ist ein messingener durchbohrter Cylinder, in den man etwa einen kleinen Ast bringen kann. Unten daran sitzt eine Schraube, um den Theil nach oben zu schieben, und oben sind zwei schwalbenschwanzförmige Leisten, um drei verschiedene Messingplatten einschieben zu können, mit Oeffnungen von $^1/_3$ bis 6 Millimeter Durchmesser. Steht nun der von der Schraube getriebene Theil gerade aus der Oeffnung hervor, so dient die Oberfläche der kleinen Platte dem Messer als Conductor.

Auf dem nämlichen Principe beruht der etwas vollständigere Apparat, welchen **Adams** (*Essays*, p. 128, Pl. IX, Fig. 1) 1770 verfertigte und der späterhin von **Cumming** verbessert wurde. **Custance**, der sich durch das Verfertigen dünner Durchschnitte von Holz einen Namen gemacht hat, bediente sich eben desselben. Im Wesentlichen stimmt damit überein das von **Quekett** beschriebene Schneidewerkzeug, welches in Fig. 406 (a. f. S.) dargestellt ist, bei *A* von oben, bei *B* in der Seitenansicht. Ein Mahagoniblock *a* trägt vier feste messingene Säulen *bcde*, auf denen eine ebene Platte *m n* ebenfalls aus Messing ruht, 20 Centimeter lang, 8 Centimeter breit und fast 1 Centimeter dick. An der einen Seite hat diese Platte einen erhöhten Rand *ii*, der daran festgeschraubt ist. Mitten unter der tischartigen Platte, aber nahe dem Rande, welcher *ii* gegenüber liegt, ist ein durchbohrter messingener Cylinder oder ein Rohr *f* angeschraubt, und ragt gegenüber 6 Millimeter über die Fläche des Tisches hervor. In dieses Rohr passt ganz genau ein zweiter Cylinder *r*, der ebenfalls durchbohrt ist; die Oeffnung *s* dieses Hohlraums ist ziemlich vierseitig und hat 1,5 Centimeter Durchmesser. Dieser letzte Cylinder lässt sich durch eine Schraube, die 40 Windungen auf den Zoll hat, aufwärts schieben; der dazu gehörige Knopf *k* aber hat eine Theilung in 25 Abschnitte mit so tiefen Einschnitten, dass ein dünnes keilförmiges stählernes Stück an der Feder *v* fest eingreifen und die Bewegung der Schraube, welche als Mikrometer für den Cylinder bestimmt ist, verhindern kann. In einen festen Messingrahmen, der wie *A* gestaltet und fast gleich dick ist wie die tischartige Platte, ist ein unten ganz flach geschliffenes Messer mittelst zweier starker Schrauben *h h*

fest eingefügt; dieser Rahmen kann sich gemächlich vor- und rückwärts über die Fläche jener Platte bewegen. Das Holzstückchen, von dem man einen Durchschnitt will, wird in die Höhlung *s* des Cylinders *r* eingetrieben, so dass es ungefähr $^1/_8$ Zoll darüberragt. Hieraus bringt

Fig. 406.

A.



Quekett's Mikrotom.

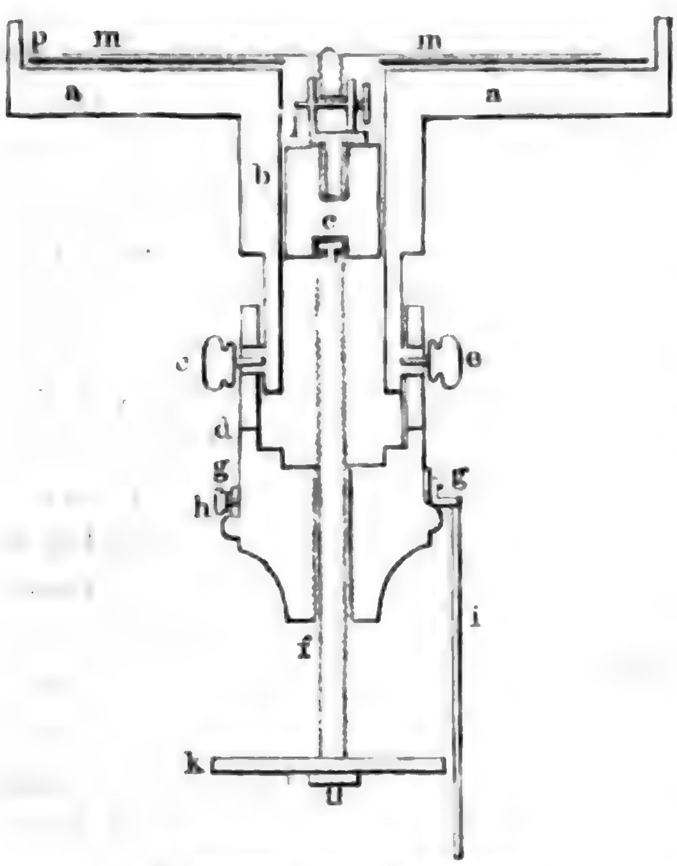
man den Cylinder *r* wiederum in die Röhre *f*, und beim Bewegen des Rahmens geht die Schärfe des Messers schief über jeden Theil der Oberfläche des Holzes. Je nachdem man aber die Schraube dreht, kann der Schnitt jede beliebige Dicke bekommen.

Dieser Apparat dürfte allerdings wohl seinem Zwecke recht gut entsprechen. Nur ist es zu tadeln, dass die Holzstückchen in die Höhle des Cylinders eingetrieben werden müssen, und dass dessen Oeffnung eine bestimmte Grösse hat, mithin Körper von geringerm Durchmesser sich nicht darin befestigen lassen. Dem ist durch einen ähnlichen Mechanismus von Topping (Quekett l. l. p. 309) abgeholfen worden, wo die Holzstücke in ihrer Höhle durch eine Schraube festgehalten werden, die gegen eine gebogene Messingplatte drückt und diese wieder gegen das Holz.

Noch zweckmässiger in mancher Beziehung ist das Mikrotom von Oschatz (Simon's Beiträge zur phys. u. pathol. Chemie u. Mikroskopie.

Bd. I, S. 131), welches Nösselt in Breslau verfertigt. Dasselbe ist Fig. 407 im Durchschnitte und in halber Grösse dargestellt. Es ist ganz aus Messing und ruht auf einem Dreifusse, der aber in der Figur weggeblieben ist. In der Mitte der runden Platte *aa* befindet sich das Rohr *b*, worin sich der Cylinder *c* bewegt. Ueber den untern dünnern Theil von *b* schiebt sich ein zweites Rohr *d* und wird durch die beiden Schrauben *ee* festgehalten, indem die dazu gehörigen Schraubenstifte durch zwei Einschnitte in *d* gehen, die in der Zeichnung nicht angegeben sind. Der untere Theil von *d* bildet die Mutter für die Schraube *f*, die, wenn *d* auf *b* feststeht, den Cylinder *c* bewegt, ohne dass dieser an der Drehbewegung der Schraube Theil nimmt. Die verschiebbare Röhre *d* hat einen Ring *g*, der durch eine Schraube *h* festgestellt werden kann und mit einem Zeiger *g* versehen ist, an welchem der die Schraube bewegende Knopf *k* vorbeigeht. Der Knopf hat eine Eintheilung in 100, und da jeder Schraubengang $^1/_8$ Linie misst, so wird der Cylinder für jeden Grad dieser Eintheilung um $^1/_{800}$ Linie bewegt. Der Cylinder *c* hat in seiner Mitte eine Schraubenmutter, um den Objectträger *l* einzuschrauben. Die Einrichtung ist ziemlich wie bei einem Schraubenstocke; nur geht sein beweglicher Rand mittelst ein paar Conductorstifte parallel mit dem feststehenden Rande. Damit das schneidende Messer sich über eine möglichst grosse Fläche bewegen kann, kommt auf die Platte *aa* die Scheibe *p* mit einem nicht mit abgebildeten Knopfe zum Abheben. Auf dieser sind aber zwei verschiebbare Platten *mm*, und so lässt sich die Oeffnung, wodurch das Objec über die Oberfläche tritt, nach Belieben verengern.

Fig. 407.



Mikrotom von Oschatz.

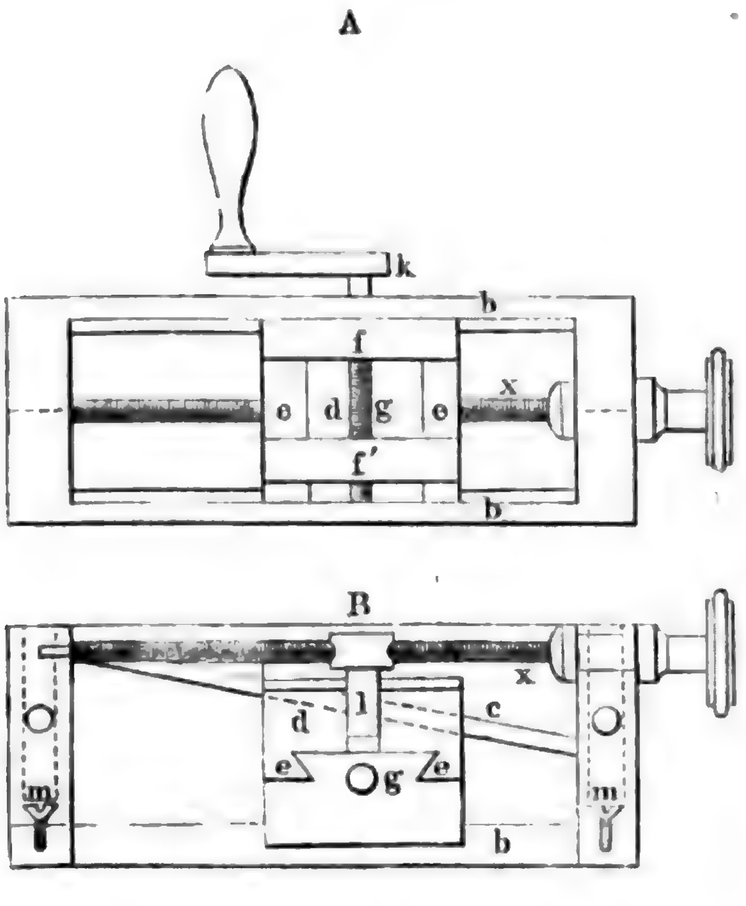
Anfangs benutzte Oschatz ein freies Messer bei seinem Instrumente, später aber versah Nösselt das Messer mit einer Einrichtung zu mechanischer Bewegung. Er giebt zwar keine ausführliche Beschreibung davon, aber nach dem Mitgetheilten ist es ein Ring, worin das Messer zwischen zwei Spitzen aufgehangen ist, während der Ring selbst ebenfalls zwischen zwei Spitzen schwebt. Die geradlinige Schneide des Messers wird durch Federn auf der Conductorenplatte gehalten. Durch eine feine Schraube wird das Messer senkrecht gegen das Object geführt,

und bei jeder Umdrehung der Schraubenaxe bewegt es sich in zwei entgegengesetzten Richtungen durch zwei abwechselnd wirkende gezahnte Stangen.

Ein vor Kurzem von Welcker (Aufbewahrung mikroskopischer Objecte, S. 33) beschriebenes Mikrotom ist eine Vereinfachung des Instruments von Oschatz.

Noch ein anderer derartiger Apparat wurde 1848 von G. F. de Capanema erfunden und von Unger in München ausgeführt (Flora 1848, Nr. 29, S. 465). Derselbe ist Fig. 408 in der wahren Grösse dargestellt, und zwar sieht man ihn bei *A* von oben, bei *B* im Durchschnitte mit einer der Seitenwandungen. Eine vierseitige messingene Kapsel ist an den vier Ecken durch die stählernen Schrauben *mm* mit dem stählernen Rahmen *bb*, auf dem das Messer gleitet, fest verbunden. Innen befindet sich das vierseitige Stück *d* mit zwei schwalbenschwanzförmigen Leisten *ee*; auf den gegenüberstehenden Seiten ist es von zwei schiefstehenden vierseitigen Oeffnungen durchbohrt für zwei unter einem bestimmten Winkel gestellte und mit den seitlichen Stücken verbundene vierseitige Stäbe *c*, von denen aber nur einer in der Figur gezeichnet ist. In eine dazwischen befindliche vertikale Oeffnung passt der kleine Cylinder *l*, der unten eine Mutter für die Mikrometerschraube *x* hat. Beim Drehen dieser letztern bewegt sich das Stück *d* nach der geneigten Fläche *c* auf und nieder. Zur Feststellung des Objects dient die Schraube *g* mit der Kurbel *k*, für welche eine mit dem Stabe *c* parallellaufende längliche Oeffnung in der Wandung angebracht ist. Durchs Umdrehen dieser Kurbel wird die stählerne Leiste *f'*, die zwischen *ee* beweglich ist, der feststehenden stählernen Leiste *f* genähert, und das Object klemmt sich zwischen beiden Leisten fest. Mit dem dazu gehörigen Messer kostet dieses Mikrotom bei Unger 6 Gulden 12 Kreuzer.

Fig. 408.



Capanema's Mikrotom.

Von diesen verschiedenen Mikrotomen kenne ich nur das letztere

aus eigener Anschauung. Ich finde die Idee ganz gut, dass die Bewegung auf einer geneigten Fläche mit einer Schraubenbewegung verbunden worden ist, muss aber gestehen, dass ich bis jetzt nur wenig Vortheil davon gesehen habe. Wahrscheinlich erhält man mit anderen Mikrotomen, wo das Messer nicht, wie hier, lose in der Hand gehalten, sondern auf mechaniche Weise oder wenigstens durch einen verschiebbaren Rahmen bewegt wird, bessere Resultate. Immer aber werden dergleichen Apparate nur einen eingeschränkten Nutzen gewähren; denn bei den meisten anatomischen Untersuchungen, wo man Durchschnitte von weichen thierischen und pflanzlichen Geweben braucht, sind sie ganz unbrauchbar und der Schnitt durch die geübte freie Hand ist hier bei weitem vorzuziehen.

Nur für den einen Fall scheint mir eine solche mechanische Einrichtung zur Anfertigung von Durchschnitten eine wissenschaftliche Bedeutung zu haben, wenn man nämlich die Anzahl der elementaren Theile bestimmen will, die mitten zwischen anderen in einem Gewebe liegen. Man muss dann genau die Dicke des Durchschnitts kennen, was nur möglich ist, wenn man einen derartigen Apparat benutzt. Freilich muss derselbe dann aber auch eine feine Mikrometerschraube haben, wodurch das Object hervorgehoben wird, und an dieser einen eingetheilten Knopf; ferner darf auch das Messer nicht frei geführt werden, sondern es muss einen bestimmt vorgezeichneten Gang nehmen, so dass alle Durchschnitte genau die nämliche Dicke besitzen. Dadurch wird es z. B. möglich werden, die Anzahl der Ganglienzellen in den verschiedenen Abschnitten des Rückenmarks, wenn dieses durch Chromsäure oder Alkohol erhärtet ist, zu zählen.

Siebentes Kapitel.

Methoden zur Aufbewahrung mikroskopischer Präparate.

Die Aufbewahrung mikroskopischer Objecte ist gleich alt wie das 516
Mikroskop selbst. In dem Briefe des Willem van Boreel (S. 588) lesen wir, dass in dem Fussstücke des Mikroskops von Hans und Zacharias Janssen, das er bei Drebbel sah, kleine Objecte (*minuta quaeque*) enthalten waren, die sie unter dem Mikroskope vergrössert wahrnahmen. Auch ist es ja ganz natürlich, dass man die einmal beobachteten Objecte auf die eine oder die andere Weise aufzubewahren suchte, um sie stets wieder betrachten zu können. Das war nun auch mit den zuerst beobachteten Objecten, den kleinen Insecten und deren Theilen, ganz leicht auszuführen; sie liessen sich ziemlich gut

im getrockneten Zustande zwischen einem Glas- und Glimmerblättchen, oder zwischen zwei Glimmerblättchen aufbewahren. Von dergleichen Objecten wurden die *Vitra pulicaria* und *muscaria* benannt, und sie kamen in der drehbaren Scheibe von Kircher's *Microscopium parastaticum* vor, sowie auf den hölzernen und knöchernen Scheiben, deren man sich schon am Ende des 17. Jahrhunderts bediente.

Man begann aber auch bald, an die Aufbewahrung zarter thierischer und pflanzlicher Theile zu denken. In Swammerdam's Leben von Boerhaave lesen wir, dass er die Eingeweide und andere Organe der zergliederten Insecten aufblies, trocknete und mit Firniss bestrich. Im Besondern theilt Boerhaave mit, Swammerdam habe die Kunst verstanden, die Nerven der Insecten so herzurichten, »dass sie wunderbar weich und durchsichtig blieben.«

Eine Sammlung mikroskopisch anatomischer Präparate wurde übrigens zuerst von Leeuwenhoek angelegt. Dass er sich in deren Verfertigung auszeichnete, ersieht man nicht nur aus seinen eigenen Beschreibungen, sondern auch aus den Zeugnissen von Zeitgenossen, die seine Präparate gesehen haben, von denen ich nur Folkes (*Philos. Transact.* Vol. 32, p. 446) nennen will.

Es scheint mir nicht ohne Interesse zu sein, wenn ich hier die Liste der Präparate folgen lasse, die in dem Verkaufskataloge der Leeuwenhoek'schen Mikroskope, wovon schon oben (S. 604) die Rede war, aufgeführt werden.

Thierische Objecte.

Muskelfasern vom Walfische.
» » Kabeljau.
» » Entenherzen.
Querdurchschnitt von Fischmuskeln.
Hautschüppchen des Menschen.
Krystalllinse vom Ochsen.
Blutkörperchen des Menschen.
Leber des Kalbes.
Querdurchschnitt der Blase.
Harnblase des Ochsen.
Zungenpapillen vom Ochsen.
Haar vom Schafe.
» » Biber.
» » Elenn.
» » Bären.
» aus der Nase.
Schuppe vom Barsch.
» von der Scholle.
Spinnwerkzeuge einer Spinne.
Fäden einer Spinne.
Häkchen einer Spinne.
Zähne einer Spinne.
Augen einer Spinne.
Spinnwerkzeug des Seidenwurms.
Gehirn einer Fliege.
Sehnerven einer Fliege.
Fussenden einer Fliege.
Haken und Hülse vom Floh.
Füsse vom Floh.
Augen von *Aeschna grandis.*
Augen eines Käfers.
Haken einer Laus.
Haut einer Laus.
Legestachel einer Laus.
Blutkoralle.
Durchschnitt einer Austerschale.
Noch nicht ausgekrochene Austern in einer kleinen Röhre.

Pflanzliche Objecte.

Quer- und Längsdurchschnitt von Ulmenholz.
Quer- und Längsdurchschnitt von Fichtenholz.
Quer- und Längsdurchschnitt von Ebenholz.
Quer- und Längsdurchschnitt von Lindenholz.
Quer- und Längsdurchschnitt von Eichenholz.
Quer- und Längsdurchschnitt von Zimmt.
Quer- und Längsdurchschnitt von Kork.
Quer- und Längsdurchschnitt von Binsen.
Durchschnitt von fossilem Holze.
Keim von Roggensamen.
Gefässbündel aus der Muskatnuss.

Mineralien.

Stückchen Marmor, Bergkrystall, Diamant,
Blattgold, Goldstaub, Silbererz, Salpeter u. s. w.

Wir erfahren nicht, wie diese Objecte von Leeuwenhoek aufbewahrt wurden, dürfen aber wohl mit Sicherheit annehmen, dass sie blos getrocknet wurden, wie man es bis vor mehreren Jahren fast allein noch zu thun pflegte. Allen Mikroskopen aus dem vorigen Jahrhunderte und aus der ersten Zeit des gegenwärtigen Jahrhunderts waren immer eine Anzahl getrockneter Objecte in beinernen oder hölzernen Scheibchen beigelegt; dabei hatte man aber weniger das Wissenschaftliche im Auge, als vielmehr nur ein nettes Aeussere und eine zierliche Form der aufbewahrten Objecte. In England machte sich Custance einen Namen durch seine ausgezeichneten Holzschnitte, in Holland zeichneten sich Abraham Ypelaar (geb. 1735, gest. 1811) und Daniel Scholten hierin sowohl wie in der Anfertigung vieler anderer mikroskopischer Präparate aus. Die beiden letzteren haben die Liebe zum Mikroskope bei ihren Zeitgenossen und Landsleuten gefördert, und die hinterlassenen Präparate über die Entwickelung und den Bau des Flohs, der Laus, der Florfliege u. s. w. sind glänzende Beweise für ihre geübte Hand und ihr scharfes Auge.

Späterhin wurde das Trocknen der mikroskopischen Präparate als allgemeine Aufbewahrungsmethode besonders von Ehrenberg (Abhdl. d. Berl. Akad. 1835, S. 141) anempfohlen. Er wollte das Trocknen durch schwache Erwärmung über einer Lampe beschleunigen. Er legte 1835 der Berliner Akademie eine Sammlung von 1208 Präparaten, grösstentheils Infusorien (Diatomeën?), vor, von denen manche ihren Bau im getrockneten Zustande besser erkennen liessen, als im frischen Zustande. Die Fasern der Muskeln, der Sehnen und der Häute, selbst die Primitivröhren der Nerven, des Rückenmarks und Gehirns sollten nach ihm durch schnelles Trocknen ihre ursprüngliche Form behalten.

517 Indessen werden alle, welche versucht, die elementaren Theile von Thieren und Pflanzen blos getrocknet aufzubewahren, gefunden haben, dass sich zwar die allgemeinen Umrisse erhalten, dass aber die feinere Structur grösstentheils verloren geht. Auch sind diese einfach getrockneten Präparate mehreren thierischen und pflanzlichen Parasiten ausgesetzt, so dass sie binnen weniger Jahre oftmals vollständig verwüstet werden. Jedenfalls müssen sie vor dem Luftzutritte geschützt werden.

Die Anwendung von Flüssigkeiten zur Aufbewahrung organischer Theile ist aber nicht blos deshalb nöthig, damit die organischen Theile ihre Form behalten; ihre Durchsichtigkeit wird dadurch auch erhöht und es werden manche Einzelnheiten sichtbar, die man in der Luft nicht daran wahrnehmen kann. Namentlich gilt das von den das Licht stark brechenden Flüssigkeiten, wie Terpentin, mehrere aus Harz und Terpentin bestehende Firnisse u. s. w. Ihrer bediente sich schon Lieberkühn zur Aufbewahrung seiner Injectionspräparate, von denen manche auch in neuerer Zeit noch nicht übertroffen worden sind.

Pritchard (*Microsc. Cabinet*, p. 230) scheint zuerst auch bei anderen getrockneten Objecten den Terpentinfirniss angewendet zu haben. Manchmal benutzte er aber auch eine Gummisolution statt desselben. Den Canadabalsam, der jetzt fast ausschliesslich dazu benutzt wird, hat Bond im Jahre 1832 auf J. F. Cooper's Anrathen zuerst zur Anfertigung mikroskopischer Präparate verwandt (Quekett l. l. p. 275). Diesem Beispiele folgte Pritchard nach, und in seiner 1835 erschienenen *List of Two Thousand Microscopic Objects* gab er die erste öffentliche Nachricht darüber.

Das Aufbewahren der Präparate im ganz feuchten Zustande wurde in England zuerst im Jahre 1839 von Goadby versucht; 1841 machte er (*Microsc. Journ.* I, p. 183) sein Verfahren bekannt, und von der *Society of Arts* erhielt er dafür eine Medaille. Er verkaufte dann seine Präparatensammlung für 500 Pfund, welche Summe durch Zeichnungen zusammengebracht wurde, mit Prinz Albert an der Spitze der Zeichnungslisten. Die Sammlung selbst wurde aber dann ans Hunter'sche Museum geschenkt. Der damalige Premier Sir Robert Peel belohnte ihn mit 150 Pfund *). Goadby benutzte bei thierischen Substanzen eine Flüssigkeit aus 4 Unzen Kochsalz, 2 Unzen Alaun und 4 Gran Sublimat auf 2 Quart (2,3 Liter) kochendes Wasser. Die Ränder des Glasplättchens, womit er das in einen Tropfen dieser Flüssigkeit getauchte Präparat bedeckte, bestrich er mit dem von den Lackirern gebrauchten Goldfirniss

*) Diese Data sind einem Berichte Goadby's (*Amer. Journ. of Sc.* 1852, p. 15) entnommen, worin er, und wohl nicht ohne Grund, sich darüber beschwert, dass einige Landsleute einzelne seiner Methoden späterhin als ihre Erfindung ausgegeben haben.

oder Goldleim, einem Gemisch von gekochtem Leinöl, Goldglätte, Animeharz und Terpentin.

Kleine Glaströge für Präparate bereitet sich Goadby auf doppelte Weise, nämlich aus vier einzelnen Glasstreifen und aus durchbohrten Glastäfelchen. Um die letzteren zu bekommen, legt er eine Anzahl viereckiger Glastäfelchen über einander, und oben darauf ein bereits durchbohrtes Glastäfelchen oder ein Messingtäfelchen, dann werden die Löcher mit einem Messingröhrchen von der erforderlichen Weite und 1 bis $1^1/_2$ Zoll Länge gebohrt, mit Hülfe des gewöhnlichen Zwickbohrers und angewässerten feinen Sandes.

Griffith (*Annals and Magaz. of Nat. Hist.* XII, p. 115) empfahl die Goadby'sche Flüssigkeit auch zur Aufbewahrung von Pflanzenpräparaten. Auch prüfte er verschiedene Körper auf ihre Tauglichkeit zum Verschliessen: 1) eine Lösung von Canadabalsam in Aether oder Terpentinöl, die so weit abgedampft ist, dass sie mit einem Pinsel aufgetragen werden kann; 2) eine Mischung von Goldleim und Bleiweiss; 3) eine Mischung von Goldleim und Mennige; 4) eine Mischung von Goldleim mit Firniss. Für Objecte, die zu dick sind oder keinen Druck vertragen können, benutzte Griffith Glastäfelchen mit ausgeschliffenen Höhlungen, oder auch Glasringe, die mit Canadabalsam auf ein Glastäfelchen aufgeklebt werden.

Speciell zur Aufbewahrung von Algen empfahl Thwaites in Bristol (*Ann. and Magaz. of Nat. Hist.* 1844, XV, p. 104) eine Mischung aus 1 Theil Alkohol und 12 Theilen Wasser mit so viel Kreosot, als sich darin löst. Nach einer spätern Vorschrift (Ralf's *Desmidiae*, p. 40) sollen es 16 Theile Wasser sein, und dann wird die Mischung mit etwas Kalk geschüttelt und filtrirt, und es wird ihr die gleiche Menge Kampferwasser zugesetzt. Thwaites nahm Glimmerblättchen zum Bedecken und Goldleim zum Verschliessen. Sollen die Objecte vor Druck bewahrt werden, so bereitet er erst einen seichten Trog, indem er auf ein Glastäfelchen einen Ring aus Goldleim aufträgt. Mehrere Jahre früher hatte aber Valentine und später auch Holland (*Transact. of the Soc. of Arts.* Vol. 48, p. 123) solche kleine Tröge mit Bleiweiss hergestellt. Um den Farbstoff auf das Glas aufzutragen, benutzte ersterer ein keilförmig zugeschnittenes Stückchen Palmholz nach Art einer Maurerkelle. Indem man successiv immer neue Lagen darauf setzt, sowie die früheren trocken sind, kann man diesen Trögen oder Zellen eine beliebige Tiefe verschaffen.

Für das Aufbewahren von Pflanzenpräparaten soll nach Reckitt (*Ann. a. Mag. of Nat. Hist.* XV, p. 242) gewöhnliches Wasser vor der Goadby'schen Solution den Vorzug verdienen. Noch später wurde von Warrington (Quekett l. l. p. 271) Glycerine dazu empfohlen, rein oder mit 2 Theilen Wasser gemischt.

Aber auch auf dem Continente beschäftigte man sich mit der vortheilhaften Aufbewahrung mikroskopischer Objecte. Ich selbst benutzte

seit 1841 bei den phytotomischen Demonstrationen eine Chlorcalciumsolution, um zu verhüten, dass die Präparate bis dahin, wo sie gezeigt wurden, eintrockneten, und dabei erkannte ich, dass die Präparate sich damit auf unbestimmte Zeit in unverändertem Zustande erhielten.

Die übrigen Bewahrmethoden, von denen im zweiten Buche (S. 555) die Rede gewesen ist, sind alle im Jahre 1843 angegeben worden. ausgenommen das Wasserglas und die Glycerine. Um diese Zeit und zum Theil auch früher beschrieb auch Oschatz (Uebersicht d. Arbeiten u. Verh. d. Schles. Ges. für vaterl. Cultur im Jahre 1841. Simon's Beiträge zur phys. u. pathol. Chemie u. Mikroskopie 1843, I, S. 134 u. 317) brauchbare Methoden. Für pflanzliche Substanzen benutzt er eine starke Zuckersolution, für thierische eine gesättigte Auflösung von arseniger Säure. Sie kommen in diesen Flüssigkeiten zwischen zwei Glastäfelchen, die er durch Ringe aus weissem Papier oder aus dem Mark von Pflanzenstengeln etwas auseinander hält. Seine spätere Methode besteht aber darin, dass er die Stelle des Glastäfelchens, wo das Präparat hinkommen soll, mit einem Blättchen Fischleim bedeckt und dann das ganze Täfelchen einige Male mit einem mit etwas Russ versetzten Copalfirniss überstreicht. Ist dieser getrocknet, so wird das Fischleimblättchen weggenommen und es bleibt so ein freier Raum zurück, der vom eingetrockneten Firniss randartig umgeben ist. Zum Schliessen benutzt er den nämlichen Firniss oder Asphaltlak.

Auch Pappenheim (Simon's Beiträge u. s. w. I, S. 500) gab 1843 Nachricht über die Aufbewahrung mikroskopischer Präparate, wozu er je nach der Art des Gewebes verschiedenartige Flüssigkeiten nimmt: blosses Wasser für Knochen, Knorpel, quergestreifte Muskeln, Embryonen; Säuren, namentlich Essigsäure, für alle Präparate mit Kernen oder mit Nerven, für das elastische Gewebe, die unwillkürlichen Muskeln; Aetzkalien in verschiedenen Graden der Verdünnung für Gehirn, Rückenmark, Embryonen; kohlensaures Kali für Blutgefässe, für eingespritzte Organe, für Rückenmarksdurchschnitte; weissen Syrup mit $^1/_{100}$ Strychnin, um dadurch die Gährung zu verhüten, für die Stäbchenschicht der Netzhaut, die *Macula lutea*, flimmernde Oberflächen; Eupion für die gefärbten Zwillingszapfen der Vogelnetzhaut. Das Präparat kommt in einer dieser Flüssigkeiten auf ein rundes oder vierseitiges Glastäfelchen, welches auf einem hohlen dünnwandigen Cylinder (einem mikroskopischen Ständer nach Pappenheim) aufliegt, der $^3/_4$ Zoll hoch, $^1/_2$ Zoll breit ist und einen als Fuss dienenden Rand besitzt. Der Durchmesser dieses hohlen Cylinders muss etwas kleiner sein, als das darauf kommende Glastäfelchen. Am Rande befindet sich eine Vertiefung für die überschüssige Flüssigkeit, wenn das Präparat mit einem Gläschen bedeckt und auf passende Weise comprimirt wird. Endlich werden die Ränder mit Asphaltlak oder Schellakfirniss bestrichen.

Purkinje (Wagner's Handwörterbuch I, S. 436) empfiehlt diese Ständer ebenfalls. Zur Aufbewahrung benutzt er zum Theil die glei-

chen Flüssigkeiten, wie Pappenheim, nämlich Wasser, Essigsäure, Aetzkali, und ausserdem eine Solution von Kochsalz, die Goadby'sche Flüssigkeit, Oel. Wenn die Präparate nur einen bestimmten Druck vertragen, so bringt er vorher drei oder vier kleine Wachskügelchen zwischen die beiden Glastäfelchen. Den Schluss bewirkt er durch einen Firniss von Copal, Asphalt oder Dammarharz.

Das Wasserglas wurde seit 1856, auf den Rath von Phoebus, durch Welcker zur Aufbewahrung mikroskopischer Präparate verwendet, worüber ich früher schon gesprochen habe.

Von Deane (Hogg's *Microscope* etc. p. 75) wurden zweierlei Gemische zum Aufbewahren pflanzlicher und thierischer Substanzen, kleiner Thiere u. s. w. empfohlen. Zuerst ein Gemisch aus 6 Unzen weisser Gelatine, 9 Unzen Honig, etwas Alkohol und einigen Tropfen Kreosot, was im erwärmten Zustande filtrirt wird. Seine zweite Mischung besteht aus 4 Unzen Glycerine, 2 Unzen destillirtem Wasser und 1 Unze Gelatine. Die Gelatine wird zuerst im erwärmten Wasser gelöst und dann wird die Glycerine zugesetzt.

Topping (Hogg's *Microscope*, p. 88) nimmt 1 Theil absoluten Alkohol auf 5 Theile Wasser. Kommen zartere Farben in Betracht, so nimmt er lieber 1 Theil essigsaure Alaunerde auf 4 Theile destillirtes Wasser.

Von R. J. Farrants (*Quart. Journ.* 1858. *Transact.* p. 118) wird zur Aufbewahrung der meisten thierischen und pflanzlichen Gewebe eine Mischung aus gleichen Theilen Gummi arabicum, Glycerine und einer gesättigten wässerigen Solution von arseniger Säure empfohlen. Diese Mischung wird ganz sowie Canadabalsam benutzt, braucht aber nicht erwärmt zu werden. Auch hat man nicht nöthig, die damit behandelten Präparate besonders zu verkitten, da die äusseren Schichten der Bewahrflüssigkeit soweit erhärten, dass die weitere Verdunstung verhindert wird.

Um schnell und sicher ein kleines Object oder einen Theil eines 518
solchen an einem früher gefertigten Präparate auffinden zu können, und um auch andere dazu in den Stand zu setzen, hat man in den letzten Jahren mancherlei Einrichtungen angegeben, die man als Indicatoren oder Finder bezeichnet hat.

Tyrrell (*Quart. Journ.* 1853, III, p. 234) benutzt eine kleine hölzerne oder elfenbeinerne Tafel, woran an der langen und breiten Seite zwei kleine Platten so befestigt sind, dass der übrig bleibende Raum gerade die Grösse des Objecttäfelchens hat. Die grössere oder untere Tafel hat eine vierseitige Oeffnung, und auf dem längern von den beiden Plättchen findet sich eine Theilung in $^1/_{50}$ Zoll, so lang wie die vierseitige Oeffnung. Das Glastäfelchen mit dem Präparate kommt nun in den offenen Raum. Befindet sich ein Object im Gesichtsfelde, dessen Stelle bestimmt werden soll, so wird der bewegliche Objecttisch gegen den Beobachter hin bewegt, bis die getheilte Scala ins Gesichtsfeld kommt,

und nun liest man ab, mit welchem Punkte der Scala das Object zusammenfällt. — Es passt demnach dieses Verfahren nur bei Mikroskopen mit einem durch Schrauben beweglichen Objecttische. Auch wird dadurch nur eine Linie angegeben, innerhalb welcher das Object befindlich ist, und der betreffende Punkt dieser Linie muss erst noch aufgesucht werden.

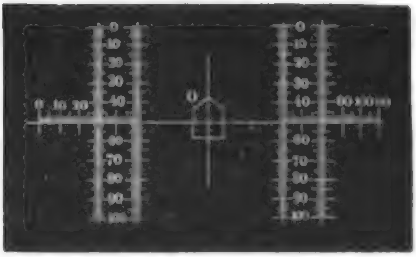
Bald darauf beschrieb Wright (*Quart. Journ.* 1853, p. 301) eine ähnliche Einrichtung, wobei die getheilte Scala auf dem Objecttische selbst angebracht ist. Die Hauptverbesserung liegt aber darin, dass er nicht Eine Scala hat, sondern zwei senkrecht auf einander stehende Scalen, wodurch der betreffende Punkt in der nämlichen Weise angezeigt wird, wie irgend ein Punkt auf der Landkarte durch die Meridiane und die Parallelen.

Etwa um die nämliche Zeit gab Amyot (*Quart. Journ.* IV, p. 303) eine Art elfenbeinernen Index an, der sich um eine Axe dreht: das eine Ende desselben hat eine getheilte Scala und das andere in eine Spitze auslaufende Ende bewegt sich über eine zweite aber gebogene Scala.

Auch der von Brodie ersonnene und von Okeden (*Quart. Journ.* 1855, X, p. 169) beschriebene Indicator stimmt im Wesentlichen mit jenem von Wright überein.

Ein anderer Weg wurde von Bridgman eingeschlagen. Dieser beschrieb 1855 (*Quart. Journ.* XI, p. 237) eine Vorrichtung, die an das Objectivsystem befestigt wird, und woran sich ein kleiner Diamant befindet, der gerade unter die unterste Linse und somit über das Object gebracht werden kann. Bewegt man das Mikroskop nach abwärts, bis der Diamant aufstösst, und dreht man dann das Objectiv herum, so zieht man einen kleinen Kreis gerade um das Object. Diese Einrichtung dürfte aber ihrer Kostbarkeit wegen nur etwa für solche brauchbar sein, die mit angefertigten Probeobjecten Handel treiben. Uebrigens hat sie vor den bisher beschriebenen den grossen Vorzug, dass sie die Stelle des Objects für alle Mikroskope angiebt, nicht blos für jenes, mit welchem die Bestimmung ausgeführt wurde.

Fig. 409.



Bailey's Universalindicator.

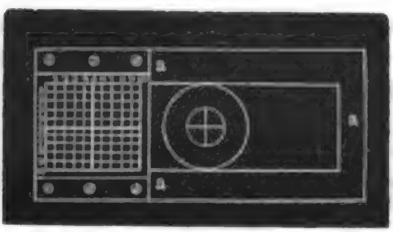
Gerade deshalb erfand Bailey (*Quart. Journ.* 1855, XIII, 55) seinen sogenannten Universalindicator, der Fig. 409 in halber Grösse dargestellt ist. Seine Verbesserung besteht hauptsächlich darin, dass auf der Tafel mit der horizontalen und vertikalen Eintheilung zugleich auch zwei einander kreuzende Linien angebracht sind, deren Kreuzungspunkt erst in die

Mitte des Gesichtsfeldes kommen muss. Um aber dabei das Licht nicht abzuhalten, ist dieses Kreuz auf ein gerade in die Oeffnung passendes Stückchen Papier gemacht, das sich von drei Seiten abheben und zurückschlagen lässt, sobald gehörig centrirt ist; oder das Kreuz ist mit einem Diamanten auf ein in die Oeffnung passendes Glastäfelchen gezeichnet. Sind nun die Scalen (50 Abtheilungen auf 1 Zoll) auf Stahl, Messing oder Stein gravirt, so kann man gleiche Abdrücke auf Papier machen, und wer einen solchen Abdruck hat, der kann leicht mit seinem Mikroskope das Object wiederfinden, dessen Stelle mit einem andern, aber doch gleichen Indicator einmal bestimmt worden ist. Um dies noch genauer zu können, zieht Bailey auf dem Glase der Objectplatte mit einem Diamanten noch Linien, eine der Länge nach, die nur den mittlern Theil für das Object frei lässt, und zwei andere zunächst den Enden, die sich rechtwinkelig mit der erstern schneiden. Diese Linien lässt man statt der Ränder des Objecttisches mit den Theilungen zusammenfallen, durch welche die Stelle des Objects bezeichnet wird.

Weiterhin gab Amyot (*Quart. Journ.* 1855, XIV, p. 152) eine Einrichtung an, die in der Hauptsache mit Bailey übereinstimmt. Nur nimmt er als mittleres Stück eine kleine knöcherne Scheibe, die gerade in der Mitte eine ganz kleine Oeffnung für das Centrum des Gesichtsfeldes hat; ist sie dort, so wird die kleine Scheibe an einem daran befindlichen kleinen Stifte weggehoben. Die mit dem Diamanten auf die Objectplatten gezogenen Linien erachtet er übrigens für überflüssig.

Die *Microscopical Society* in London beauftragte eine Commission (H. H. Jackson, Brooke, Wenham) mit der Prüfung der Indicatoren, und diese empfahl in ihrem Berichte (25. Juni 1856) einen Indicator, der Fig. 410 in halber Grösse dargestellt ist, jedoch mit Weglassung der feinsten Theilungen. Der Rahmen *aaa* aus Metall oder Holz ist $3^1/_4$ Zoll lang und $1^1/_2$ Zoll breit. An der Aussenseite befindet sich ein erhabener Rand, $^1/_4$ Zoll breit, wozwischen die Glastafel mit dem Präparate gelegt wird. In der Mitte zeigt sich eine zollbreite Oeffnung. Links befindet sich eine vierseitige Messingplatte, die so weit über den Rahmen hervorsteht, dass ein Objectgläschen von gewöhnlicher Dicke darunter geschoben werden kann. Auf dieser Messingplatte ist die Theilung mit den sich rechtwinkelig kreuzenden Linien, die $^1/_{50}$ Zoll aus einander stehen, angebracht. Die mittleren Linien sind die dickeren. — Will man diesen Indicator gebrauchen, so bringt man zunächst ein Glastäfelchen von der gewöhnlichen Grösse der Objecttäfelchen, in dessen Mitte mit

Fig. 410.



Indicator der Microscopical Society.

dem Diamanten ein Kreuz gezogen ist, in den Rahmen und schiebt es unter die eingetheilte Messingplatte, bis es am obern und am Seitenrande anstösst. Den Kreuzungspunkt bringt man hierauf in die Mitte des Gesichtsfeldes. Für die Theilungen ist ein Zeiger bestimmt, nämlich ein hufeisenförmig gebogener Messingstreifen, der an dem einen Ende in eine feine Spitze ausläuft und am andern Ende eine Schraube hat, wodurch er unter dem Objecttische befestigt werden kann. Die feine Spitze wird so gestellt, dass sie sich gerade über dem Kreuzungspunkte der dickeren Linien auf der getheilten Scala befindet. Nun vertauscht man das zuerst genommene Glastäfelchen mit jenem, worauf sich das Object befindet, dessen Stelle gefunden werden soll. Es kommt ebenfalls so in den Rahmen, dass es an den obern Rand und an die Seitenwände desselben unter der Messingplatte stösst, und das ganze Object wird dann ins Gesichtsfeld gebracht, indem man den ganzen Rahmen bewegt. Da nun die Spitze des Zeigers den Platz nicht verändert hat, so kann man auf der Scala die beiden Zahlen ablesen, welche angeben, wie weit der Rahmen in beiden senkrechten Richtungen bewegt werden musste, um das Object in die Mitte des Gesichtsfeldes zu bringen.

Noch später hat auch Edwards (*Quart. Journ.* 1857, XX, p. 200) zwei solche etwas modificirte Einrichtungen beschrieben, die etwas einfacher sind als die vorhergehende, und ebenso beschrieb auch Bridgman (*Quart. Journ.* XX, p. 206) ein Verfahren, welches etwas davon abweicht, und wobei am Körper des Mikroskops ein Zeiger angebracht ist, der sich an einer getheilten Scala bewegt.

Endlich hat Maltwood (*Quart. Journ.* April 1858, p. 59) noch einen Indicator angegeben, dessen wesentliche Einrichtung darauf hinausläuft, dass eine in kleine Vierecke getheilte photographirte Scala an die Stelle des Objecttäfelchens in das Feld des Mikroskops gebracht wird. Dabei muss aber Sorge getragen werden, dass die eine Seite gegen einen Stopfen auf dem Objecttische stösst, damit die Stellung immer die nämliche bleibt.

Aus dieser gedrängten Uebersicht ist ersichtlich, dass selten ein Gegenstand in so kurzer Zeit so vielfach auf zweckmässige Weise in Angriff genommen werden mag, wie der Indicator. Alle diese verschiedenen Apparate sind aber überflüssig, wenn man mein oben (S. 565) beschriebenes einfaches Verfahren anwendet, das gerade seiner Einfachheit wegen wohl bald allgemeinen Eingang finden dürfte, gleichwie das ebendaselbst erwähnte Hoffmann'sche Verfahren, wie man ein Object während einer Untersuchung wiederfinden kann.

Alphabetisches Namen- und Sachregister.

A.

B.

C.

E.

F.

G.

J. und I.

M.

N.

O.

P.

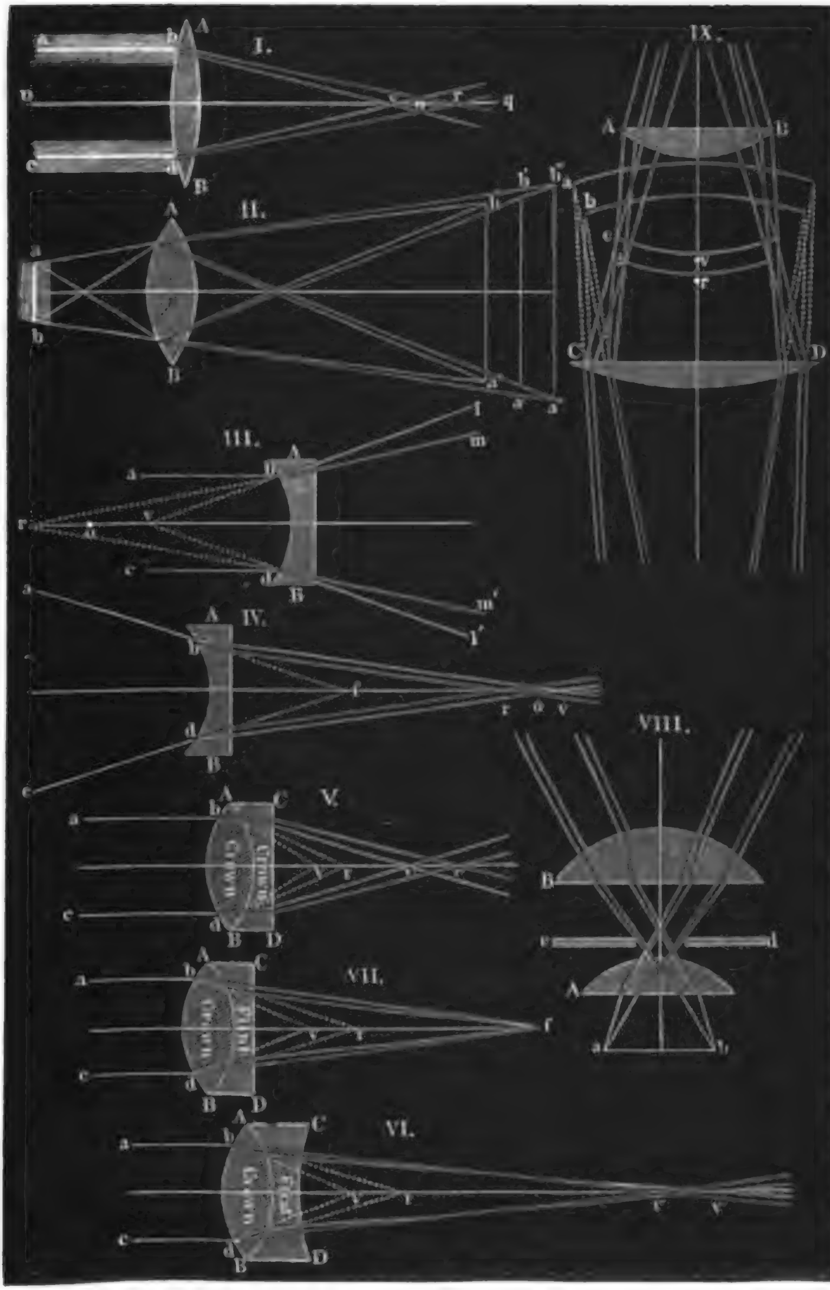
Q.

R.

W.

Sinnentstellende Druckfehler:

S. 75 Z. 1 oben: Nr. 4 statt Nr. 47.
S. 81 Z. 18 oben: $\frac{1}{5,7}$mm statt $\frac{1}{57}$mm.
S. 100 Z. 6 unten: 95mm statt 05mm.
S. 112 Z. 13 oben: ebene Fläche statt obere Fläche.
S. 133 Z. 3 unten: ganz einfachen statt meist einfachen.
S. 222 Z. 8 unten: aber statt eben.
S. 362 Z. 4 unten: messingene statt kupferne.
S. 392 Z. 19 oben: erlernen statt erkennen.
S. 622 Z. 20 u. 21 oben: gestaltete statt gestellte.
S. 647 Z. 7 unten: Kloben statt Kolben.


I.
II.
III.
IV.
V.
VI.
VII.
VIII.
IX.
Crown
Flint

20